



INSTITUT
NATIONAL
des SCIENCES
APPLIQUÉES



Projet de Physique P6-3
STPI/P6-3/2008 – 2009



Nom des étudiants

Nassim SELLAL

Grégory COUTANT

Pierre MARIE

Romain LEONI

David PUECH

Paul BENOIT-CATTIN

Enseignant-responsable du projet

Daniel RELLO



CONCEPTION ET REALISATION D'UN MOTEUR STIRLING



À TAILLE
HUMAINE
À L'ECHELLE
DU MONDE

Date de remise du rapport : 22/06/09

Référence du projet : STPI/P6-3/2008 – 2009

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

Type de projet : **Expérimental et Simulation.**

Objectifs du projet :

L'objectif principal de notre projet est bien sûr la réalisation d'un moteur Stirling opérationnel, pour notre plus grande satisfaction personnelle, mais aussi et surtout pour, à terme, pouvoir mesurer sa vitesse de rotation et ainsi la puissance développée.

Pour se faire, il y a divers opérations, étapes à effectuer qui vont ainsi définir nos objectifs secondaires, à savoir :

- ***Une phase recherche (comprendre le fonctionnement des différents moteurs ; choisir le(s) modèle(s) à réaliser et les documents, matériaux nécessaires à sa (leur) réalisation).***
- ***Mise au point d'un système de répartition des tâches le plus efficace possible (en tenant compte des préférences de chacun mais aussi des contraintes de timing).***

Dans la mesure du possible, nous avons l'intention de réaliser plusieurs moteurs. Dans un premier temps, un relativement basique pour assurer un résultat final ; puis dans un deuxième temps, un autre du même modèle plus évolué (et donc avec un meilleur rendement, enfin a priori) et un moteur de type différent plus complexe afin de pouvoir les comparer d'un point de vue technique et énergétique.

Table des matières

I.	Introduction	5
II.	Méthodologie / Organisation du travail	6
III.	Travail réalisé et résultats	9
III.1.	Moteur Stirling : la théorie.....	9
III.1.1.	Un peu d'Histoire.....	9
III.1.2.	Le Principe de fonctionnement.....	9
III.1.3.	Les différents types de moteur Stirling.	10
III.1.3.1.	Le moteur Alpha.....	10
III.1.3.2.	Le moteur Bêta.....	11
III.1.3.3.	Le moteur Gamma.	12
III.2.	Moteur Stirling : la pratique.....	14
III.2.1.	Moteur Nivea 1.0.....	14
III.2.2.	Moteur Nivea 2.0.....	14
III.2.2.1.	Construction du cylindre principal.....	14
III.2.2.2.	Construction du piston moteur.....	15
III.2.2.3.	Construction du volant d'inertie et de son axe	16
III.2.3.	Moteur Stirling de William Gurstelle.....	21
III.2.3.1.	Les cylindres	21
III.2.3.2.	La structure du moteur	21
III.2.3.3.	Les pistons et le guide.....	22
III.2.3.4.	L'axe et le volant d'inertie.....	23
III.2.3.5.	Modifications	24
III.3.	Calcul de la puissance	26
III.3.1.	Mesure de la vitesse de rotation.....	26
III.3.2.	Calcul du couple.....	27
III.3.3.	Calcul final de la puissance	28
IV.	Conclusions	30
V.	Bibliographie	33
VI.	Annexes	35
VI.1.	Perspectives.....	35
VI.2.	Une gestion scientifique des ressources humaines.	36

I. INTRODUCTION

Dans le cadre de l'EC P6-3, chacun d'entre nous a été amené à choisir un sujet suivant ses propres préférences. Il semble que nous ayons tous été très intéressés par la présentation du moteur Stirling qui nous avait été faite au cours du module P1 de première année. Cette EC nous offrait donc l'opportunité de développer nos connaissances dans ce domaine.

Nous nous retrouvons ainsi 6 dans ce groupe qui aura pour mission, à terme, de réaliser un moteur Stirling. Il devient alors évident que d'adopter une bonne organisation au sein de notre groupe est indispensable. De plus, il est également clair qu'une bonne partie de notre temps sera dédié à la recherche mais aussi à la réalisation du moteur (cela tombe sous le sens).

Au cours des premiers modules d'une heure et demie, nous avons posé les bases de ce qu'allait être notre travail dans la suite du semestre. Pendant cette heure, notre enseignant-encadrant Daniel RELLO été chargé de répondre à nos questions et nous guider, tout en nous laissant l'autonomie dont nous avons besoin. Nous avons réalisé l'essentiel de la construction, pour ne pas dire toute la construction, chez nous étant donné que la conception nécessitait beaucoup de matériel et de temps en continu.

Bref, nous voilà partis dans cette « aventure », avec tout ce dont nous pouvons avoir besoin. Nous sommes sur la bonne voie !

II. METHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

Etant donné que le module de P6-3 ne commençait que 2 semaines avant le début des vacances de Février, comme le reste des cours, nous n'avons, dans un premier temps pas pris le temps de nous organiser clairement. Nous nous étions juste convenu de faire des recherches chacun de son côté durant les vacances. Il se trouve que David, dans sa soif de vouloir mettre en pratique ses recherches le plus rapidement possible (on ne lui en veut pas !), a réussi la réalisation d'un moteur opérationnel, avant la reprise des cours.

Nous étions donc bien partis, et, forts de ce résultat très précoce, nous avons pu poursuivre notre travail l'esprit léger. Il ne faut pas oublier que des rumeurs (plutôt versasses) disaient qu'il était impossible ou presque de faire tourner un moteur Stirling (dixerunt les troisièmes années).

A partir de là nous nous sommes séparés en groupe pour atteindre une meilleure efficacité. Tout d'abord, bien que le moteur tourne, il n'atteignait alors qu'un pénible 50 tours/minute, ce qui pouvait être largement amélioré, d'après Mr RELLO. De plus, la marge que nous donnait ce moteur nous permettait de revoir nos ambitions à la hausse. Autrement dit, nous avons décidés de construire un nouveau moteur, plus compliqué. De là est donc née les équipes, une chargée de l'amélioration du premier moteur, l'autre en charge de mettre en service un nouveau moteur.

Après des heures d'acharnement, plusieurs modifications opérées sur les conseils de notre enseignant, nous avons deux nouveaux moteurs (ils seront détaillés plus loin). Cependant un seul des deux était opérationnel. Nous étions rattrapés par les rumeurs ! Nous avons alors changé de stratégie. Il faut savoir qu'à ce moment là la fin de l'année se rapprochait à grand pas et la nécessité de faire des mesures aussi. Dans cette optique, nous nous sommes re-divisés en groupe, un pour tenter de faire tourner le dernier moteur, un autre pour préparer le terrain pour effectuer des mesures et, enfin, un dernier pour se lancer dans la rédaction du dossier.

Durant cette période, chacun a, malgré les équipes, travaillé un peu sur chaque partie du projet, notamment au cours des modules hebdomadaires. Il ne faut pas oublier que durant ces sessions, chacun rendait compte de l'avancement de son travail, cherchant l'aide du professeur et des autres membres du groupe.

Une fois cette phase passée, le moment était venu de se mettre aux mesures. A l'aide du travail théorique de la « measurement team » et aussi des conseils avisés de Mr RELLO, nous avons réussis nos mesures et obtenus des résultats très satisfaisant (nous étions tous satisfaits de voir la puissance **démentielle** que peut développer un moteur de cette taille !), et ce, malgré l'absence du dynamomètre aussi précis que nous l'aurions souhaité.

Mais le résultat est là ! Merci à tous pour cette expérience très enrichissante sans aucun doute! Merci à MECANO® pour ses spare-parts toujours utiles, merci à ASTUCIT® pour ses super cordes à piano légèrement détournées de leur usage primaire, et merci à bien d'autres. Nous remercierons également David pour ses cours d'équilibre de chaise sur le pied, Pierre pour ses cours d'équilibre sur chaise tout court... Mais surtout merci à Mr Daniel RELLO qui nous a guidés tout au long de cette EC. Nous le remercions également pour son cours de P1, pas mal du tout non plus !

Le schéma suivant met en évidence le déroulement de l'EC ainsi que l'organisation adoptée :

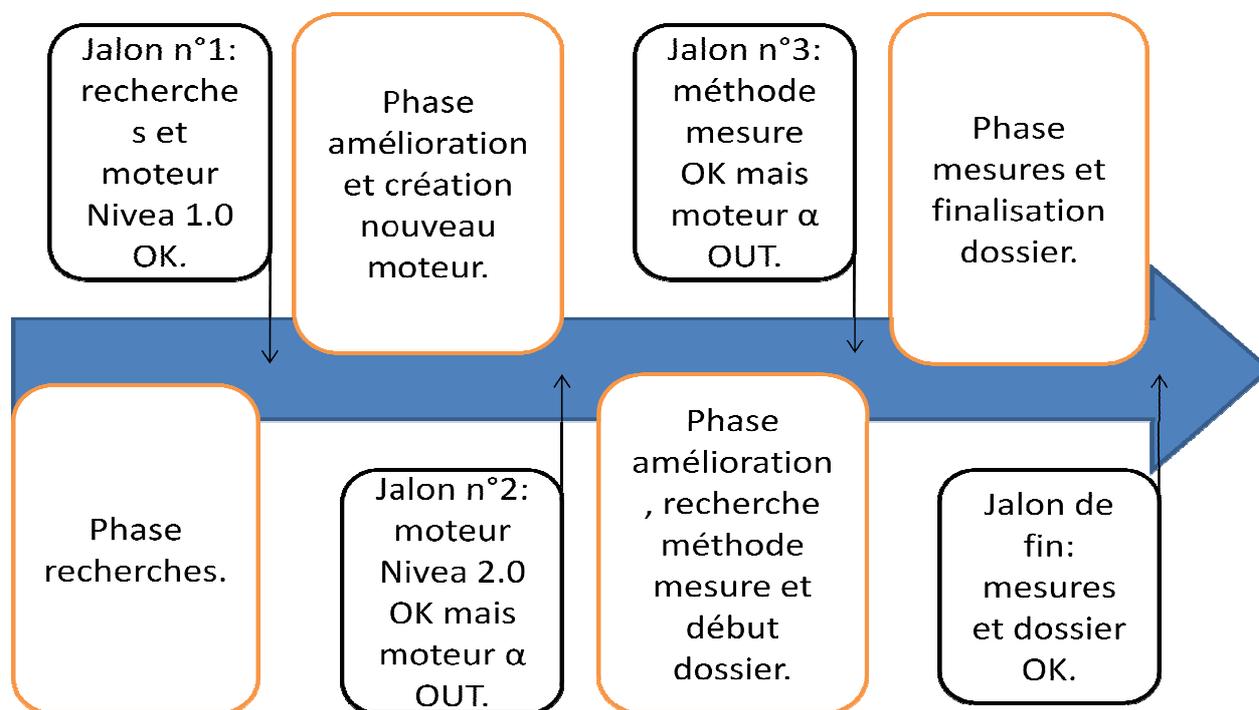


Figure 1: Frise descriptive du déroulement de l'EC.

Tableau 1: Détail des différentes phases du projet.

 Phase de Recherches. (extra : moteur Nivea 1.0).	<p>Tout le groupe. Team NIVEA 1.0 : David PUECH.</p>
 Jalon de projet n°1.	<p>Les recherches sont complètes, le choix du moteur à construire est fait. Le premier moteur Nivea 1.0 est opérationnel.</p>
 Phase de création du nouveau Nivea et de la création du nouveau moteur α .	<p>Team NIVEA 2.0: David PUECH, Nassim SELLAL, Paul BNEOIT-CATTIN. Team Moteur α: Romain LEONI, Gregory COUTANT, Pierre MARIE.</p>
 Jalon de projet n°2.	<p>Le moteur Nivea 2.0 fonctionne très bien. Mais le moteur α ne tourne pas.</p>
 Phase de d'amélioration du moteur α , recherche de méthodes de mesure de vitesse et puissance, début du dossier.	<p>Team Amélioration : Romain LEONI, Pierre MARIE. Team Recherche: David PUECH, Nassim SELLAL. Team Dossier : Paul BENOIT-CATTIN.</p>
 Jalon de projet n°3.	<p>Les recherches ont porté leurs fruits. Mais le moteur α ne marche toujours pas.</p>
 Phase de mesures et de finalisation du dossier.	<p>Team Mesures : tout le monde. (calculs Gregory COUTANT) Team Dossier : tout le monde (rédaction finale Paul BENOIT-CATTIN).</p>
 Jalon de fin.	<p>Les mesures sont excellentes. Le dossier est fini.</p>

III. TRAVAIL REALISE ET RESULTATS

Comme nous l'avons défini auparavant, la première phase de notre travail consiste à effectuer des recherches documentaires. Dans un premier temps nous nous sommes focalisés sur le moteur Stirling, les différents types existants ainsi que leur fonctionnement.

III.1. Moteur Stirling : la théorie.

III.1.1. *Un peu d'Histoire.*

Au début du XIX^{ème} 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 le risque d'explosion, car il est inutile de faire chauffer de 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. Egalement, la mise en place d'un régénérateur dans la tuyauterie du moteur a permis d'éviter trop de pertes d'énergie, améliorant son rendement.

Alors, en 1843, son frère « industrialisa » ce moteur, pour une utilisation dans l'usine où il était ingénieur. Cependant, en raison de différents problèmes 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 Stirling n'obtient pas le succès qui lui est dû. Le moteur Stirling n'est plus qu'un objet d'étude pour les physiciens, qui comprendront le fonctionnement du moteur, bien après son invention, avec l'avènement de la thermodynamique.

III.1.2. *Le Principe de fonctionnement.*

Dans sa description la plus simple, le moteur Stirling est constitué d'un cylindre renfermant du gaz et d'un piston récupérant l'énergie mécanique. Le cycle thermodynamique du moteur Stirling est dans son principe très simple : il comprend 4 phases pendant lesquelles le gaz utilisé subit les transformations suivantes :

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

Le moteur à combustion externe fonctionne donc suivant le cycle :

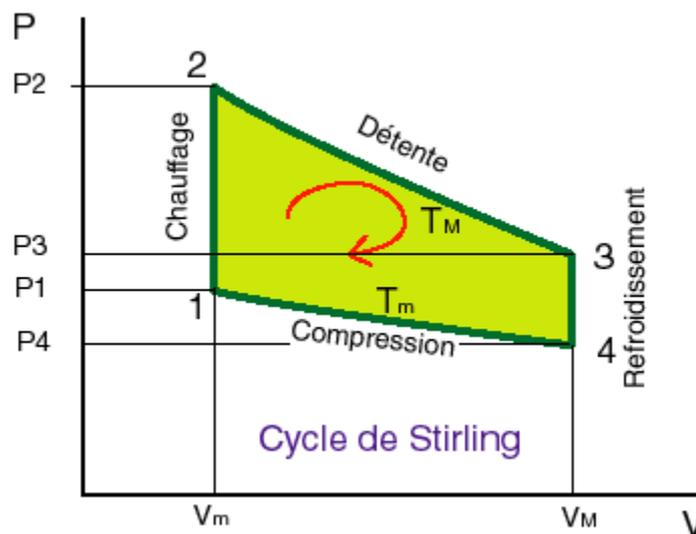


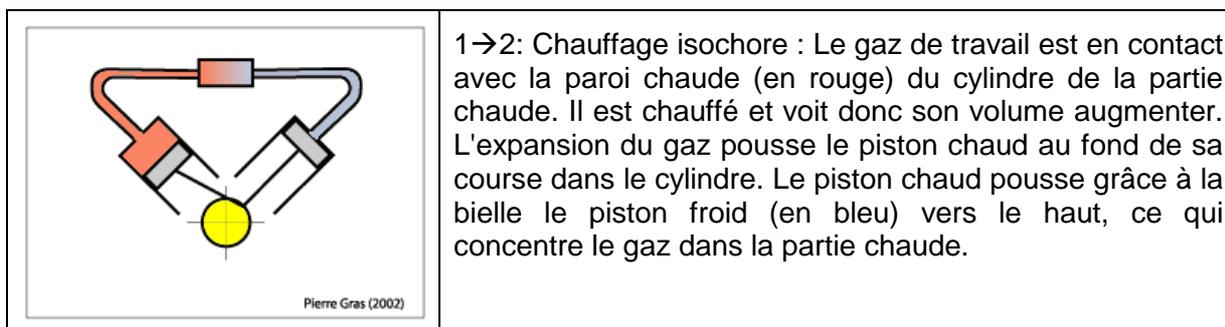
Figure 2 : Cycle de Stirling

III.1.3. Les différents types de moteur Stirling.

En effet, tout en suivant le même cycle et donc les mêmes phases, il existe trois types de moteur à combustion externe. Chacun possède ses propres caractéristiques et un mode de fonctionnement différents. Nous verrons donc dans chaque cas le rapport entre les actions du moteur et les phases caractéristiques du cycle Stirling.

III.1.3.1. Le moteur Alpha.

Le Stirling alpha contient deux pistons de puissance séparés, un piston « chaud », et un piston « froid ». Au cours du cycle, le gaz passe d'un piston à l'autre.



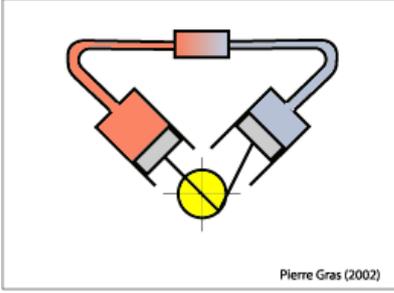
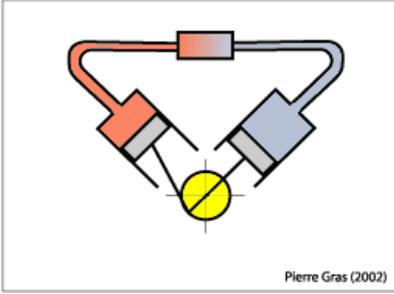
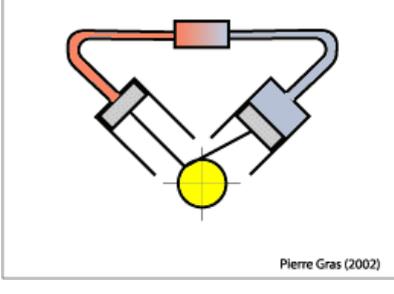
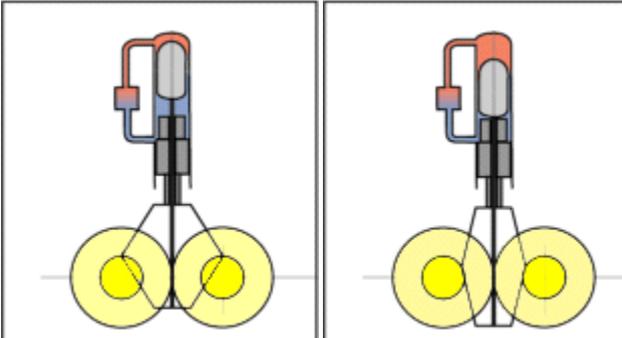
 <p style="text-align: right; font-size: small;">Pierre Gras (2002)</p>	<p>2→3 : Détente isotherme : Le gaz est maintenant à son volume maximal. L'expansion du gaz ne peut plus se faire vers la gauche (piston chaud en bout de course), et se fait maintenant vers le cylindre froid (en bleu). Le piston chaud envoie la plus grande partie du gaz vers le piston froid. Le piston bleu redescend, et par la bielle, pousse le piston rouge vers le haut, contribuant à la circulation du gaz vers le piston bleu. Dans le piston froid, la température baisse, et le volume du gaz diminue.</p>
 <p style="text-align: right; font-size: small;">Pierre Gras (2002)</p>	<p>3→4 : Refroidissement isochore : Presque tout le gaz est maintenant dans le piston froid et le refroidissement du gaz continu. La pression du gaz est à son minimum. Le piston froid, alimenté par l'inertie des pistons, commence à remonter en re-compressant le gaz. Ainsi la pression du gaz recommence à augmenter.</p>
 <p style="text-align: right; font-size: small;">Pierre Gras (2002)</p>	<p>4→1 : Compression isotherme : Poussé par l'inertie des pistons en mouvement, le gaz retourne vers le cylindre chaud (à gauche) où il sera chauffé une fois de plus, recommençant le cycle.</p>

Tableau 2: Phases de fonctionnement du moteur Alpha.

III.1.3.2. *Le moteur Bêta.*

Le moteur Beta présente une différence radicale avec le moteur alpha, il ne possède qu'un seul cylindre combinant la source chaude et la froide. De plus les deux pistons, moteur et déplacement, sont parfaitement étanches. Ces pistons combinent un mouvement relatif lors du changement de volume du gaz avec un mouvement commun qui déplace ce volume de la partie chaude à la partie froide, et vice-versa.

	<p>1→2 : Chauffage isochore :</p> <p>Le gaz est transféré de la partie froide vers la partie chaude.</p> <ul style="list-style-type: none"> ✚ le piston moteur est quasi-immobile. ✚ le déplaceur descend.
---	--

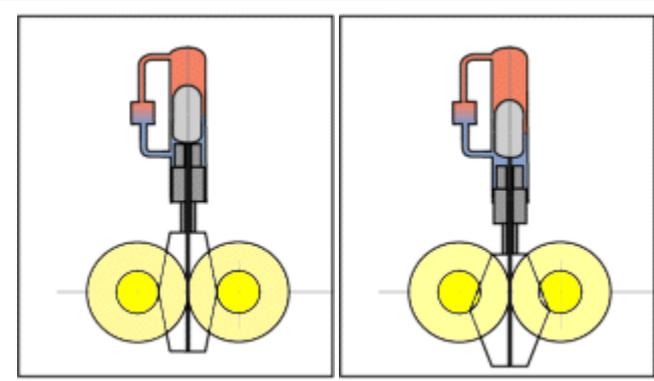
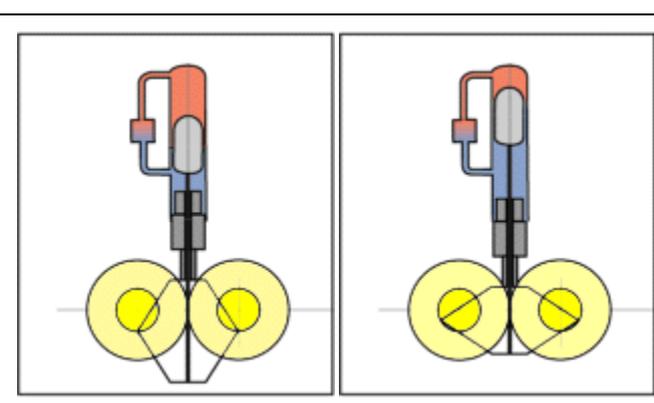
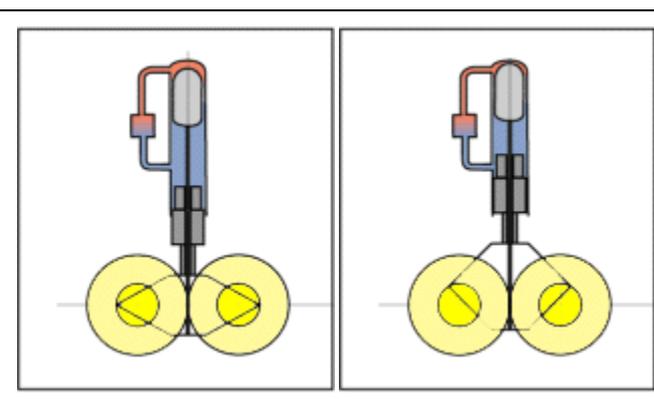
	<p>2→3 : Détente isotherme :</p> <p>Le gaz est détendu en restant dans la zone de la source chaude.</p> <ul style="list-style-type: none"> ⬇ le piston moteur descend. ⬇ le déplaceur l'accompagne.
	<p>3→4 : Refroidissement isochore :</p> <p>Le gaz est transféré de la partie chaude vers la partie froide.</p> <ul style="list-style-type: none"> ⬇ le piston moteur est quasi-immobile. ⬆ le déplaceur monte.
	<p>4→1 : Compression isotherme :</p> <p>Le gaz est comprimé en restant dans la zone de la source froide.</p> <ul style="list-style-type: none"> ⬆ le piston moteur monte. ⬆ le déplaceur est quasi-immobile en partie supérieure.

Tableau 3: Phases de fonctionnement du moteur Bêta.

III.1.3.3. *Le moteur Gamma.*

Le moteur gamma est un mélange entre le moteur alpha et le moteur bêta. Dans un cylindre le piston déplaceur joue son rôle, dans l'autre le piston moteur fait varier le volume global et récupère l'énergie. Ce type de moteur est fréquemment utilisé dans le cas de faibles écarts de température entre source froide et source chaude.

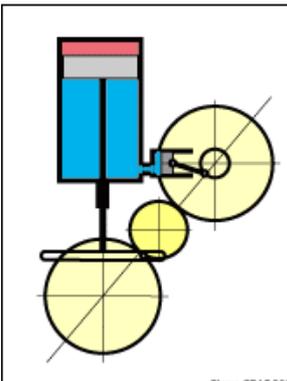
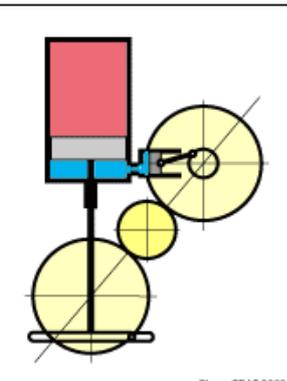
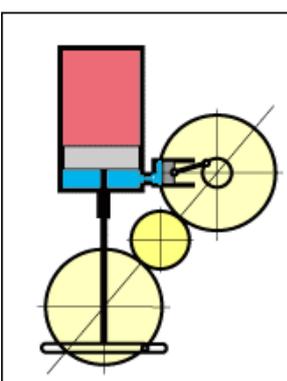
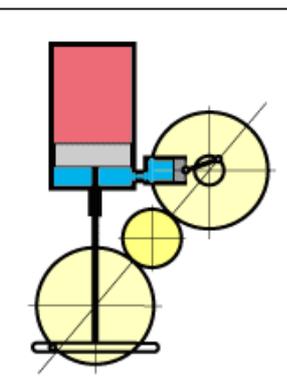
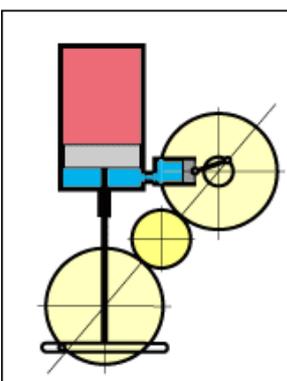
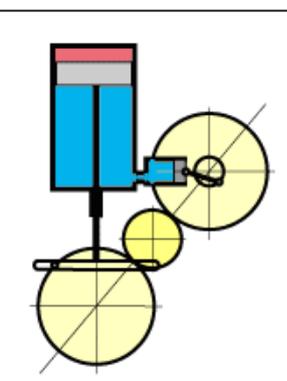
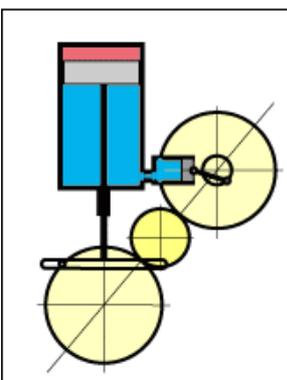
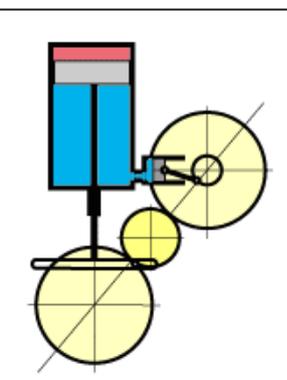
 <p>Pierre GRAS 2003</p>	 <p>Pierre GRAS 2003</p>	<p>1→2 : Chauffage isochore :</p> <p>Le volume global est minimal, le gaz se réchauffe.</p> <ul style="list-style-type: none"> ✚ le piston moteur bouge peu, ✚ le déplaceur effectue une longue course.
 <p>Pierre GRAS 2003</p>	 <p>Pierre GRAS 2003</p>	<p>2→3 : Détente isotherme :</p> <ul style="list-style-type: none"> ✚ Le déplaceur bouge peu, ✚ le piston moteur effectue plus de 70% de sa course, il récupère l'énergie motrice.
 <p>Pierre GRAS 2003</p>	 <p>Pierre GRAS 2003</p>	<p>3→4 : Refroidissement isochore :</p> <p>Le gaz est refroidi.</p> <ul style="list-style-type: none"> ✚ le déplaceur effectue une grande partie de sa course, ✚ le piston moteur bouge peu.
 <p>Pierre GRAS 2003</p>	 <p>Pierre GRAS 2003</p>	<p>4→1 : Compression isotherme :</p> <p>Le gaz est globalement froid.</p> <ul style="list-style-type: none"> ✚ déplaceur reste en partie supérieure, ✚ le piston moteur effectue la majorité de sa course : il comprime le gaz en cédant de l'énergie mécanique.

Tableau 4: Phases de fonctionnement du moteur Gamma.

A la fin de ces recherches, combinées à d'autres concernant la fabrication et, enfin le conseil de Mr RELLO, nous avons donc décidé de nous lancer dans la construction d'un moteur de type gamma.

Nous voilà donc lancés dans la deuxième partie de notre « aventure ».

III.2. Moteur Stirling : la pratique.

III.2.1. Moteur Nivea 1.0.

Après avoir étudié les différents types de moteurs, regardé les problèmes rencontrés nous avons décidé que la réalisation d'un moteur de type gamma était la solution la plus simple. Nous nous sommes donc lancé dans la réalisation d'un moteur de type « Nivea » basé sur les différents plans trouvés sur internet et adaptés pour réaliser notre propre moteur.

Matériaux utilisés :

- Une plaque de tôle de 1mm d'épaisseur,
- profilé plastique plat d'épaisseur 2mm et de largeur 23.5mm,
- Profilé plastique carré 12*12mm d'épaisseur 1mm,
- Tube d'aluminium de 4mm de diamètre,
- Cordes à piano de 0.825mm,
- Perles,
- Colle chaude, « super glue », mastic silicone...

Apprendre de ses erreurs :

Prit par l'envie et l'excitation de construire un moteur nous avons réalisé un premier prototype à la hâte et sans avoir tout les matériaux nécessaires. Le résultat n'était donc pas surprenant. Un moteur qui ne tourne pas très vite (estimé à 50 tr/min) et d'une façon peu fiable. En effet, ce moteur avait une fâcheuse tendance à caler très fréquemment. Cela a cependant permis de mettre en relief l'importance de minimiser les frottements que ce soit au niveau de la rotation du volant d'inertie ou du mouvement du piston déplaceur.

III.2.2. Moteur Nivea 2.0.

Nous avons donc entrepris la construction d'un nouveau moteur avec plus de soins et plus de patience dont voici les différentes étapes de construction :

La construction de ce moteur peut se diviser en 3 parties avec la construction du cylindre principal comprenant le piston déplaceur et le support du volant d'inertie, puis la construction du piston moteur et enfin celle du volant d'inertie.

Les sites internet proposent différentes versions de ce moteur avec des plans détaillés cependant nous avons pris l'initiative de ne pas suivre ces plans à la lettre et avons pris des choses qui nous intéressaient dans chaque version.

III.2.2.1. Construction du cylindre principal

Pour le cylindre principal nous avons choisi d'utiliser, à la place de la boîte de Nivea recommandée, deux plaques d'acier que nous avons scié pour leur donner la forme de deux disques.

A l'aide d'une perceuse nous avons réalisé un petit trou au centre de la plaque supérieure, pour la tige du piston déplaceur, ainsi qu'un gros trou de la taille du diamètre d'une boîte de pellicule pour l'emplacement du piston moteur.

Nous sommes ensuite passés à la construction du piston déplaceur qui est fait d'un disque de polystyrène avec quelques trous pour faciliter le déplacement de l'air. Nous avons attaché ce disque à une corde de piano pour en faire la tige au bout de laquelle nous avons ajouté une sorte de bielle en corde à piano tordue à l'aide des pinces pour améliorer la rotation du volant.

Avant d'achever le cylindre principal il a fallu construire un coulisseau à l'aide d'un petit tube d'aluminium et de deux perles collé à ses extrémités, chose qui n'a pas toujours été évidente à faire notamment à cause d'outils pas toujours adaptés, pour ne pas le citer le pistolet à colle. Nous l'avons ensuite collé verticalement sur le trou au centre de la plaque supérieure.

Puis nous avons placé le piston entre les deux plaques tout en faisant passer la tige dans le coulisseau et créer vraiment le cylindre en ajoutant l'écarteur, une plaque de pvc modelé et fixé pour écarter les deux plaques. Nous avons aussi collé trois barres de pvc pour avoir un support pour le volant et son axe.

Enfin pour garantir l'étanchéité de ce cylindre nous avons enduit tout l'écarteur et le bas du coulisseau de silicone. Et nous avons testé cette étanchéité de manière artisanale en immergeant le cylindre et en y soufflant de l'air.



Figure 3 La plaque, l'étancheur et le piston.

III.2.2.2. *Construction du piston moteur*

En ce qui concerne le piston moteur, il a été fabriqué avec une boîte de pellicule photo découpée puis collée autour du trou préparé à cet effet sur la plaque supérieure du cylindre principal.

Ce piston devant être étanche nous avons découpé un gant en caoutchouc et nous l'avons troué avec une vis et placé un écrou et une rondelle pour serrer le caoutchouc et éviter les fuites d'air dû au trou. Nous avons ensuite fixé ce bout de caoutchouc grâce à la boîte de la pellicule et enroulé autour du filetage de la vis une corde à piano pour faire la tige de ce piston ce qui permettait de pouvoir régler la hauteur de la tige en fin de course en enroulant plus ou moins autour du filetage.



Figure 4 Tige du piston sur la vis

III.2.2.3. Construction du volant d'inertie et de son axe

Dans un premier temps réalisé avec une corde à piano que nous tordions à l'aide de deux pinces pour obtenir la forme décrite sur les plans des moteurs Nivea. Nous avons ensuite construit un deuxième coulisseau construit de la même façon qui était collé à la structure portante pour permettre à l'axe de tourner tout en étant relié à la base.

Le volant, un CD, était ensuite collé à l'axe grâce encore une fois à une méthode très artisanale consistant à remplir le centre du CD de colle chaude, de la laisser refroidir puis de chauffer le bout de la corde de piano (l'axe) puis de transpercer le centre du CD avec. Enfin il ne rester plus qu'à plier à nouveau l'axe pour obtenir le débattement voulu et pour créer des sortes d'encoche pour coincer les tiges des deux pistons.



Figure 5: Tige meulée.

Cette partie du moteur a ensuite eu droit à un relooking complet...

L'axe a ensuite été construit avec un axe de meccano pour avoir un axe plus droit et des réglages plus précis.

Aux extrémités cet axe se trouvait des sortes de cylindres plein, nous les avons passé à la meuleuse pour obtenir une distance au centre correspondant au débattement voulue. Une fois arrangée nous y avons collé un petit bout de corde à piano pour accrocher autour la tige du piston déplaceur et collé une perle afin de la bloquer et fait de même pour la tige de piston moteur.

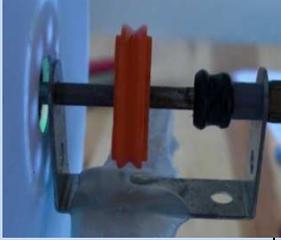
Le volant d'inertie est resté un CD mais nous y avons collé une roue de meccano afin de la maintenir bien droite et normale à l'axe.

Pour remplacer le coulisseau ayant un diamètre trop petit pour le nouvel axe nous avons utilisé un moyeu collé avec de la colle chaude sur le support en pvc de la base.

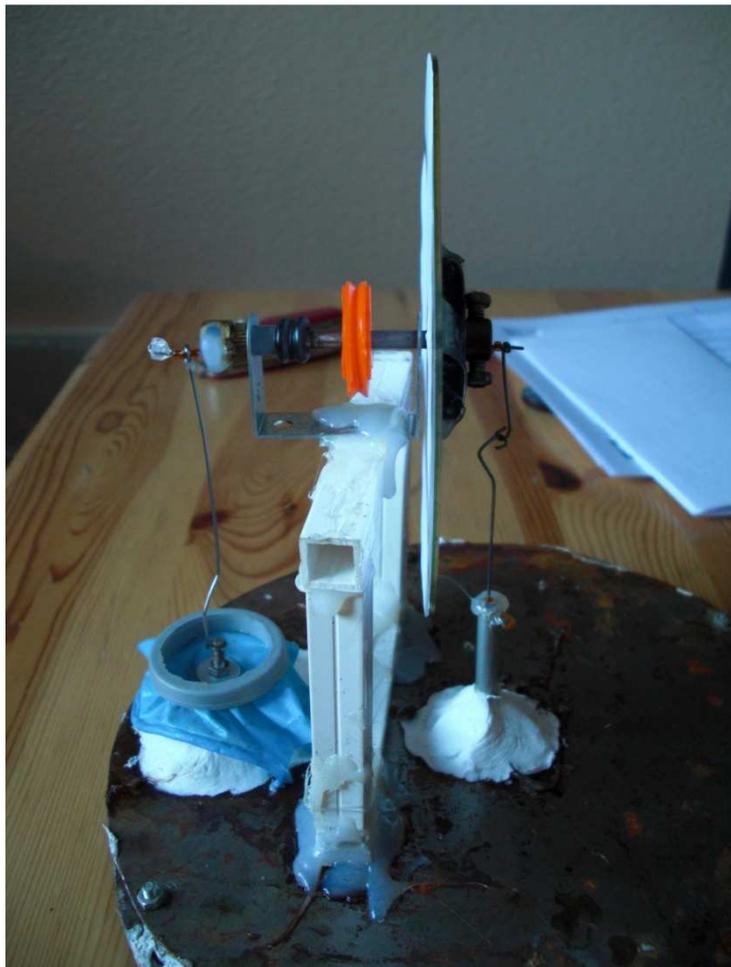
Tableau 5: Eléments du moteur Nivea 2.0

	Type de pièces	Rôle	Matériaux	Améliorations
Base	<u>Plaques supérieur et inférieur</u> 	Permettre l'échange de chaleur entre l'air contenu dans le moteur avec le thermostat froid et le thermostat chaud	-Plaque d'acier de 1mm.	Ces plaques ont été sensiblement agrandies par rapport à un moteur Nivea standard dans le but d'avoir une plus grande surface d'échange.
	<u>Ecarteur</u> 	Ecarté les deux disques d'aciers en évitant le transfert de chaleur entre les plaques.	-PVC	Pas d'amélioration notable entre nos différentes versions.
	<u>Piston déplaceur</u>	Déplacer l'air pour qu'il soit en contact alternativement sur la source chaude et la source froide.	-Polystyrène	La seule amélioration a été l'ajout de trous au centre pour faciliter la circulation de l'air.
	<u>Structure portante</u>	Tenir le système contenant le volant d'inertie, l'axe et le moyeu.	-PVC	Pas d'amélioration particulière. Cette structure a changé de hauteur à plusieurs reprises pour s'accorder avec les autres pièces mais pas de changement de forme ou de matériaux.
	<u>Coulisseau</u> 	Permettre à la tige du piston déplaceur de monter et descendre en minimisant les frottements et en étant le plus étanche possible pour éviter que l'air du système s'échappe.	-Tube d'aluminium - Perles	Pas d'amélioration.
	<u>Chambre du piston moteur</u>	Permettre la fixation de la membrane.	-Boîte de pellicule photo.	Pas d'amélioration.

Systèmes mobiles

<p><u>Moyeu</u></p> 	<p>Permettre la rotation de l'axe en minimisant les frottements</p>	<p>-Tube d'aluminium - perles</p>	<p>Dans un premier temps il était réalisé avec un tube ($\approx 5\text{cm}$) avec une perle collé à chaque extrémité. Ce système était satisfaisant au niveau des frottements mais obligeais l'utilisation de la corde a piano. Ce système a été remplacé par une pièce de Meccano ce qui a permis l'utilisation d'un axe de meccano pour l'axe général (choix qui sera expliqué plus bas)</p>
<p><u>Axe</u></p> 	<p>C'est la pièce la plus importante puisqu'elle fait la liaison entre le piston moteur, le piston déplaceur et le volant d'inertie.</p>	<p>-Corde à piano -Axe de MECANO</p>	<p>A la base et comme utilisé dans les moteurs Nivea elle était en corde a piano. Elle n'était jamais parfaitement droite mais fonctionnait néanmoins parfaitement. Cependant elle a été remplacée par un axe de Meccano qui permettait un meilleur réglage des autres pièces.</p>
<p><u>Volant d'inertie</u></p> 	<p>Permet au système de garder de l'inertie dans les phases où le piston moteur n'exerce pas de force.</p>	<p>-CD -Colle -CD -Roue de Meccano</p>	<p>Au début il était réalisé a partie d'un CD dont le centre était rempli de colle. L'axe était fixé de façon définitive au CD. Ce n'était pas parfait et le CD n'était jamais parfaitement droit ou parfaitement centré. Ces problèmes ont été réglés grâce à la roue de Meccano qui une fois bien collé et centré permettait de parfaitement tenir le CD dans le bon axe. De plus cela a rendu le système démontable, réglable et modifiable. (cela a par exemple permis l'ajout de la poulie orange très utile pour faire les mesures).</p>

<p><u>Tige du piston déplaceur</u></p> 	<p>Cette tige fait la liaison entre l'axe et le piston déplaceur. En fait elle est fixée au volant d'inertie qui est lui-même fixé à l'axe. C'est cette fixation particulière qui permet l'excentrage vis-à-vis de l'axe.</p>	<p>-Fil de fer</p> <p>-Corde à piano</p>	<p>-La première version était fait en fil de fer (la corde à piano n'était pas encore en notre possession). Ce n'était pas idéal, il n'était pas très droit et franchement rouillé. Le passage à la corde à piano a permis d'avoir une tige parfaitement lisse et beaucoup plus droite.</p> <p>-La deuxième amélioration a été l'ajout d'une bielle. En effet, comme la fixation sur le volant d'inertie est excentré, il y a une rotation du point de fixation. Dans les premières versions la tige se déformait à chaque rotation. L'ajout d'une bielle a permis de complètement supprimé cette torsion grâce aux mouvements possibles entre la bielle et la tige du piston.</p>
<p><u>Tige du piston moteur</u></p> 	<p>Cette tige transmet les forces du piston moteur à l'axe. Ici aussi sa fixation sur l'axe est excentrée afin de générer un couple et donc la rotation.</p>	<p>-Fil de fer</p> <p>-Corde à piano</p>	<p>-Ici aussi le fil du fer utilisé de façon temporaire sur les premières versions et a été remplacé par de la corde à piano.</p> <p>-Une autre modification a été le changement du système d'accroche au boulon de la membrane. Au début le fil de fer était lié aux boulons par deux écrous. Dans le but de gagné quelques grammes ces deux boulons ont été supprimés. La tige a été tordue autour du boulon pour pouvoir tenir sans aucun écrou.</p>
<p><u>La membrane</u></p> 	<p>Cette membrane souple traduit les dilatations du gaz en un mouvement vertical.</p>	<p>-Gant en caoutchouc</p> <p>-Ecrout</p> <p>-Boulon</p>	<p>Cette partie n'a pas été modifiée au cours des différentes versions puisque elle donnait entière satisfaction.</p>



III.2.3. Moteur Stirling de William Gurstelle.

Comme nous l'avons expliqué dans la partie organisation, nous nous sommes lancés dans la construction d'un nouveau moteur plus compliqué mais a priori plus puissant.

Pour la réalisation de ce moteur de type alpha, nous avons pris exemple pour la forme générale sur le moteur de même type réalisé par le groupe 21 de l'année dernière. Mais nous avons essayé de ne pas reproduire les mêmes erreurs que ce groupe.

C'est pourquoi nous avons décidé de faire un moteur beaucoup plus petit (40cm de hauteur contre plus d'un mètre) et nous n'avons pas utilisé de tuyau métallique pour faire le lien entre les 2 cylindres comme ils avaient pu faire. En effet, nous avons réalisé le métal étant conducteur de chaleur, la différence de chaleur entre les deux cylindres n'était pas assurée. C'est peut-être ce qui a empêché leur moteur de tourner d'ailleurs.

C'est donc avec ces considérations que nous nous sommes lancés dans la réalisation de ce moteur qu'aucun Insaïen n'a jamais réussi à faire marcher.

III.2.3.1. Les cylindres

Nous avons tout d'abord percé des trous à la base des 2 boîtes de conserves préalablement vidées et nettoyées pour faire passer un tuyau en plastique. Le perçage fut délicat car la boîte de conserve est arrondie et le foret utilisé est destiné au bois.

Mais comment faire tenir le tuyau plastique verticalement au centre de la boîte de conserve ? Pour régler ce problème, nous avons fait passer une corde à piano dans le tuyau plastique, puis nous avons donné la forme voulue à celui-ci grâce à la rigidité de la corde.



Figure 6: Un cylindre.

Un fois ceci fait, il a suffit assurer l'étanchéité des boîtes de conserves (la liaison conserve/tuyau) avec de la silicone de salle de bain afin de garder le trou dans lequel passe le tuyau parfaitement étanche à l'eau.

III.2.3.2. La structure du moteur

Nous avons ensuite réfléchi à la mise en place d'un système permettant de maintenir fixe la position des boîtes de conserve : une planche en bois posée sur les boîtes et percées au

niveau de celles-ci. Cette planche permettra en outre de fixer les différents supports et de maintenir les 2 guides. Ce système de planches en bois reliés entre-elles par des vis. Il fut facilement réalisé.

III.2.3.3. *Les pistons et le guide*

Nous avons opté pour des boîtes de pellicules pour faire office de pistons. Ce piston sera donc en mouvement de translation verticale et s'encastrent dans le tuyau sans que de l'eau ne pénètre dedans ni en entraînant des frottements trop importants.

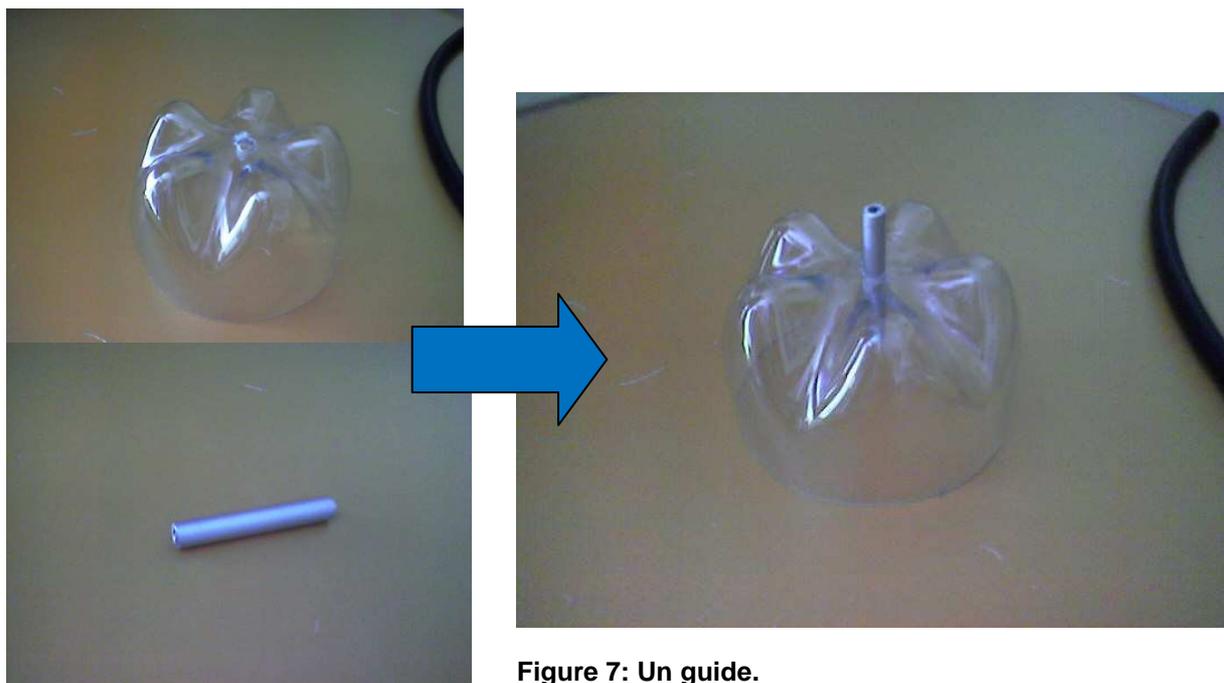


Figure 7: Un guide.

Mais comment faire en sorte que les boîtes de pellicule ne se déplacent que verticalement ? C'est pour répondre à cette question que nous avons créé un guide. Pour cela, nous avons découpé le culot d'une bouteille de Coca-Cola puis percé en son centre (en essayant diverses techniques : avec un compas, en essayant de faire fondre le plastique et finalement en utilisant une perceuse). A l'intérieur de ce trou, nous avons rentré en forçant un tube d'aluminium dans lequel passera plus tard une corde à piano.

Nous avons alors été confronté à un nouveau problème : comment maintenir la corde à piano verticale à l'intérieur du tube sans toucher les



Figure 8: Le guide et son piston associé.

parois pour éviter les frottements ? La solution a été de placer des perles des 2 côtés du tube et les coller au bout de celui-ci. Ce fut techniquement l'opération la plus délicate de ce travail car il fallait centrer la perle tout en la collant avec la colle brûlante. Nous y sommes parvenu grâce à un autre fil de fer qui nous a permis de bien placer et maintenir la perle, mais après de nombreux essais.



Figure 9: Pistolet à colle.

Une fois le guide prêt, nous avons attaché la partie inférieure de la corde à piano à la boîte de pellicule après avoir percé le fond de la boîte de pellicule avec un compas. Pour l'attacher, nous avons recourbé le bout de la corde à piano dans la boîte de pellicule et avons collé les deux de manière à ce que la boîte de pellicule (piston) soit solidement fixée à la corde à piano.

III.2.3.4. *L'axe et le volant d'inertie*

Nous avons donc attaqué la partie supérieure. Nous avons récupéré une tige d'aluminium assez épaisse pour servir de tige horizontale sur laquelle serait posé les deux volants d'inertie. Cette tige a été préalablement tordu en 2 endroits (formant ainsi une sorte de vague) pour la liaison avec la corde à piano tout en respectant la différence de $\pi/2$ entre les 2 vagues. Nous avons passé sur cette tige les 3 tubes d'aluminium servant de lien avec le support.

Puis pour fixer les cordes à piano à la tige, nous avons tordu la corde et enroulé



Figure 10: L'axe et les 2 volants aux extrémités.



Figure 11: Le moteur Alpha dans sa première version.

autour de la tige (toujours dans un souci d'avoir un montage facile à démonter) et enfin appliqué 1 point de colle de chaque côté pour éviter que la corde glisse sur la tige. Nous avons enfin placés les 2 volants d'inertie (2 CD) de chaque côté de la tige en remplissant le centre du CD de colle pour laisser seulement passé la tige tout en veillant à bien le centrer pour un bon équilibre.

Ne restait plus qu'à poser la tige sur le support et de la maintenir avec

de petits clous sans tête puis d'assembler toutes les parties.

III.2.3.5. *Modifications*

Le moteur est maintenant fini et assemblé. Après un test avec une eau bouillante dans une boîte de conserve et froide dans l'autre, ça ne marche pas! même en lançant le mouvement...

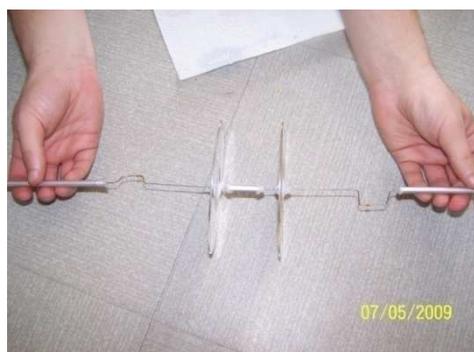
Pourquoi ?

première idée : la tige horizontale d'aluminium est trop lourde et empêche le moteur de fonctionner car la force demandée pour tourner une telle tige est trop importante.

deuxième idée : les volants d'inertie sont trop excentrés et ajoute un poids mal placé.

troisième idée : une des corde à piano en passant dans le guide provoque trop de frottements.

Nous avons donc régler ces quelques problèmes en remplaçant d'abord la tige d'aluminium lourde par une nouvelle corde à piano bien plus légère mais plus fragile. Puis en plaçant les 2 volants d'inertie au centre de la tige horizontale. Et enfin en rajoutant simplement de la vaseline au niveau du guide pour faciliter le glissement à cet endroit.



Avec ce nouveau moteur, nous avons pu effectuer de nouveaux tests de la même manière qu'expliqué précédemment. Mais le moteur ne marche toujours pas...



Figure 12: Le moteur Alpha avec l'axe rééquilibré.

Pourquoi le moteur ne marche pas ?

Concernant l'étanchéité des cylindres et du piston, nous avons vérifié et aucun problème de fuite d'air ou d'eau ne semble apparaître.

Du côté de la tige horizontale et des volants d'inertie, nous sommes quasiment sûr que le problème ne vient pas de là comme nous l'avons déjà modifié.

Après analyse de Mr RELLO, il semblerait que le problème vienne des guides et des liens entre tiges verticales et horizontales. En effet, les guides opposent toujours de forts frottements au moteur tandis que les liens entre tiges verticales et horizontales sont trop mobiles, pas assez accrochés et empêche le moteur de pousser la tige verticalement.

Tableau 6: Eléments constitutifs du moteur alpha et leur évolution

Différentes parties	Rôle	Evolution de l'élément
Bâti	Regrouper l'ensemble des éléments du moteur.	Système de planches clouées entre-elles. Rapidement réalisé sans problèmes une fois les plans faits.
Cylindres (x2)	Contenir l'eau froide et chaude (=sources) : énergie utile au moteur.	Deux conserves de 400g dont nous avons percé à la base le côté pour lier les deux conserves avec un tuyau. Perçage délicat en raison de la surface arrondie.
Tuyau	Connecter les deux cylindres de manière imperméable.	En plastique, diamètre 1cm, longueur 30cm. Nous l'avons fait passer dans les 2 trous des cylindres et rendue imperméable grâce à de la silicone, puis mis un fil de fer pour le faire tenir droit.
Pistons (x2)	Contenir et déplacer l'air de la partie chaude à la partie froide.	Deux boîtes de pellicule photo, diamètre 3cm. Nous avons percé le fond de la pellicule pour y passer une tige de fer verticale. Le piston doit arriver au niveau du tuyau sans frottements.
Tige Verticale	Mettre en liaison les pistons avec les volants d'inertie : transmettre l'énergie du moteur.	Fil de fer connecté d'un côté avec le piston, de l'autre avec la tige horizontale et passant dans un guide. Problème avec la longueur de la tige trop longue et empêchant le bon lien avec l'horizontale, donc raccourcissement et création de liens entre les 2 tiges.
Guide (x2)	Permet aux pistons de se déplacer que verticalement.	Culot d'une bouteille de Coca traversé en son centre par un tube d'aluminium et fixé avec de la colle sur le bâti.
Tige Horizontale	Mettre en liaison les pistons avec les volants d'inertie : transmettre l'énergie du moteur.	D'abord tige filetée mais trop lourde et trop de frottements. Ensuite fil de fer tordu à deux endroits selon un angle de $\pi/2$ pour le lien avec le piston. Posé sur le bâti à l'aide des 3 tubes.
Tube (x4)	Permet de guider le fil de fer (tige horizontale et verticale).	Constitué d'aluminium et nous avons fixé avec de la colle des perles à chaque extrémité pour rendre le guidage et l'absence de frottements plus performants. Collage très délicat car petite surface.

Volants d'inertie (x2)	Permet l'équilibrage de la rotation du moteur.	Deux CD classiques reliés à la tige horizontale par de la colle.
------------------------------	---	---

III.3. Calcul de la puissance

Nous avons trouvé plusieurs méthodes pour calculer la puissance de notre moteur, cependant elles n'étaient pas toutes applicables à un notre moteur Stirling du fait de sa faible puissance. Nous avons donc choisi de la calculer grâce à la vitesse de rotation du moteur et à son couple.

III.3.1. Mesure de la vitesse de rotation

L'étape la plus simple à mettre en place fut la mesure de la vitesse de rotation. En effet, nous avons trouvé une sonde formée de deux diodes : une diode émettrice et une diode réceptrice. La première envoie une onde électromagnétique qui se réfléchit sur une paroi et est captée par la seconde. La tension aux bornes de la seconde diode est fonction de la quantité de lumière réfléchie. Nous avons donc placé la sonde devant une face du volant d'inertie que nous avons peint en blanc. Nous avons ensuite inscrit une petite marque noire dessus, puis nous avons regardé à l'oscilloscope la tension aux bornes de la seconde diode. Voici le schéma électronique :

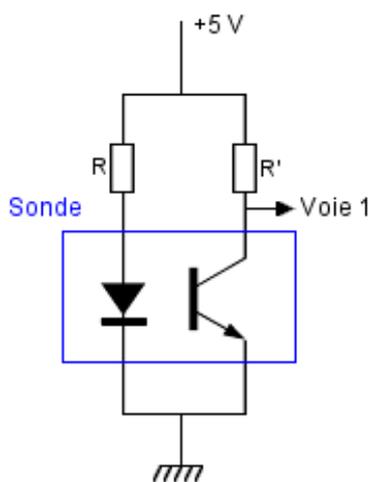


Figure 13: Schéma du capteur.

Le signal observé est plat et ponctué à intervalle régulier d'un pic correspondant au passage de la marque noire devant la sonde. La période du signalé T équivaut à un tour du volant d'inertie, il est donc facile d'obtenir la vitesse angulaire ω grâce à la formule :

Équation 1: Calcul de la vitesse angulaire.
$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

Notre mesure donne une période de 750 ms, soit une vitesse angulaire de $8,38 \text{ rad.s}^{-1}$, c'est à dire $80 \text{ tours.min}^{-1}$.

III.3.2. Calcul du couple

Pour calculer le couple de notre moteur nous avons rajouté une poulie dessus afin de pouvoir mettre un fil dessus relié d'un côté à un dynamomètre et de l'autre à une masse, comme représenté sur le schéma :

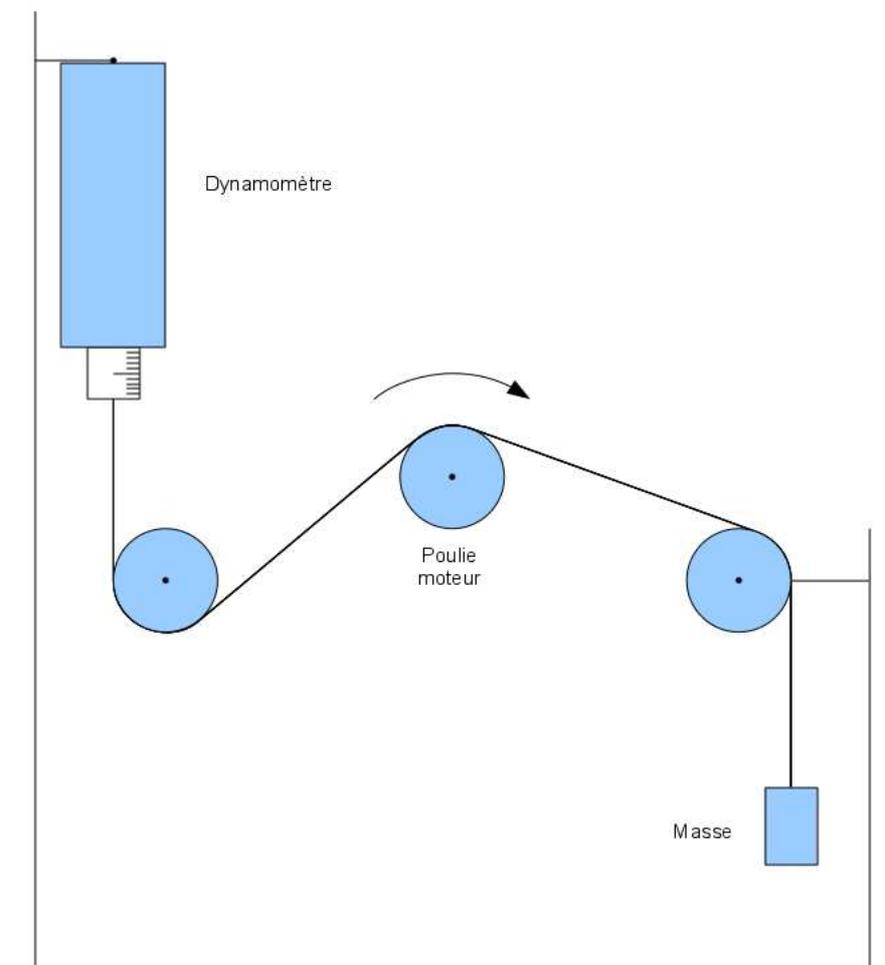


Figure 14: Schéma du système de mesure de puissance.

Si on appelle D la force mesurée sur le dynamomètre, P le poids de la masse et R le rayon de la poulie, on a alors la formule suivante pour calculer le couple :

Équation 2: Calcul du couple:

$$\Gamma = R(D - P) = R(D - mg)$$

Sachant que notre poulie mesure 1,2 cm et que g vaut $9,81 \text{ N.kg}^{-1}$, nous avons effectué les mesures pour 4 masses différentes et nous obtenons les résultats suivants :

Tableau 7: Résultats expérimentaux 1.

m (en g)	D (en N)	Γ (en N.m)
10	0,19	$1,10 \cdot 10^{-3}$
20	0,29	$1,13 \cdot 10^{-3}$
25	0,34	$1,14 \cdot 10^{-3}$
30	0,39	$1,15 \cdot 10^{-3}$

Nous pouvons remarquer que le couple est quasiment constant et vaut en moyenne $1,13 \cdot 10^{-3} \text{ N.m}$.

III.3.3. Calcul final de la puissance

Pendant la mesure du couple, nous avons également mesuré la vitesse angulaire du moteur freiné par le fil :

m (en g)	T (en ms)	ω (en rad.s^{-1})
10	937,5	6,7
20	1100	5,71
25	1275	4,93
30	1416	4,44

Tableau 8: Résultats expérimentaux 2.

Nous sommes maintenant en mesure de calculer la puissance du moteur :

Équation 3: Calcul de la puissance: $P = \omega \cdot \Gamma$

Et nous obtenons :

m (en g)	P (en mW)
10	7,39
20	6,43
25	5,6
30	5,1

Tableau 9: Résultats expérimentaux 3.

La puissance du moteur diminue si la masse entraînée augmente, ce qui est logique vu que le couple est constant et que la vitesse angulaire diminue.

Bilan : Notre moteur Stirling est surpuissant!! Nous en sommes très fiers.

IV. CONCLUSIONS

Paul,

« Etant dans un groupe où je ne connaissais personne cela m'avais quelque peu embêté voir refroidi ! Mais je me suis rendu compte qu'au final ce n'était pas grave du tout, au contraire : j'ai découvert un groupe super sympathique au sein duquel je me suis vite senti à l'aise. Me débrouillant pas trop mal en bricolage je me suis également dit que je pouvais servir à quelque chose. C'est important de sentir que l'on n'est pas inutile. Chacun a su apporter quelque chose à son niveau. De plus il régnait une excellente ambiance dans notre groupe. Des conditions idéales pour travailler donc.

Pendant la construction d'un moteur Stirling nous paraissait très difficile, certes intéressante mais non pas moins compliquée. Mais le fait que nous ayons obtenu un moteur si tôt nous a remonté le moral. Nous avons pu nous consacrer à un vrai travail d'équipe du début à la fin, et ce, sereinement. Dans tout projet, il y a des responsabilités à assumer vis-à-vis des autres. Tout le monde a respecté son contrat à la lettre.

Je suis extrêmement satisfait de mes « petits gars » et du travail qu'ils ont fourni. Je pense que notre travail d'équipe a apporté ses fruits. Cette EC est vraiment une superbe expérience !

Romain,

L'objectif de ce projet était de construire un moteur Stirling fonctionnel. Pour bien s'assurer d'avoir au moins un moteur fonctionnel fin juin, nous avons tenté de réaliser un moteur de type gamma qui est, d'après la plupart des sources, le plus simple à réaliser. Ce moteur a été fonctionnel assez rapidement, donc nous nous sommes séparés par la suite en deux groupes. Le premier groupe avait pour but de créer un moteur gamma plus performant, tandis que le second groupe, auquel j'appartenais, avait pour but d'essayer, sur la base des travaux d'un groupe de l'an dernier, de faire fonctionner un moteur de type alpha.

Cette partie du projet a, pour ma part, été la plus intéressante. En effet, il nous a fallu reprendre les travaux d'un autre groupe et, à l'aide de diverses sources, trouver pourquoi leur moteur ne fonctionnait pas. Nous avons trouvé plusieurs défauts de conception, puis nous avons conçu un nouveau modèle qui corrigeait ces défauts. Malheureusement, même avec ces modifications, nous n'avons pas été capables de faire fonctionner le moteur.

Concernant l'UV P6-3 en général, je pense qu'elle se distingue des autres UV, car elle nous a permis de construire un moteur ; en effet, c'est un projet concret, bien plus que la plupart des matières que nous avons étudiées jusqu'à présent. De plus, le fait de travailler en groupe est un plus, car cela nous a appris à réfléchir à un problème à plusieurs, ce que nous nous aurons à faire quand nous serons ingénieurs.

Pour conclure, je dirai que cette UV a été très intéressante, et que c'est une bonne chose que les projets existent à l'INSA, car ils font le lien entre théorie et pratique, et nous forcent à réfléchir aux meilleures solutions pour résoudre un problème.

David,

Parmi tous les projets proposés, il n'y en avait qu'un seul que je voulais, le moteur sterling. Ça faisais déjà six mois que j'attendais de pouvoir faire ce projet, c'est donc sans aucunes appréhensions que je me suis jeté dans la réalisation d'un premier moteur. J'ai donc été très satisfait d'avoir avant la fin des vacances de pâques un moteur opérationnel.

Cependant ce moteur était loin d'être rapide et encore moins fiable. Donc avec une partie de l'équipe nous nous sommes lancés dans la construction d'un nouveau moteur qui a été, après de nombreuses améliorations notre dernier. Pendant ce temps, une autre équipe s'attelait à la construction d'un autre type de moteur. C'est aussi ça le travail en équipe, se repartir le travail pour au final en faire plus. Au final nous n'avons qu'un moteur mais c'est le moteur de l'équipe.

Ce projet a pour moi été très intéressant car pour une fois il était concret. On a enfin pu faire quelque chose de ses mains, construire un moteur qui à défaut d'être utile a au moins le mérite d'être gratifiant. Le voir tourner sans problème pendant des heures est une belle récompense. Je pense donc que les projets sont une passerelle vers le monde réel ou ce que l'on apprend trouve un écho.

Pierre,

Cet U.V. de P6-3 a d'abord été très intéressante pour moi du point de vue collaboratif. En effet, dans la lignée des projets d'informatique et de mathématique, ce projet m'a permis de m'investir dans un travail de groupe et de pouvoir raisonner et agir en groupe. Nous nous sommes plutôt bien réparti les tâches afin d'être plus efficace et je trouve ce système de travail très pratique.

Concernant l'aspect réalisation du projet, le principe de construire nous même en tant qu'élève-ingénieur un moteur qui tournera sans aide électrique me paraissait d'emblée irréalisable ou du moins très complexe. Mais étant donné le fait que David a fini un moteur et l'a fait tourner en quelques jours juste pour essayer, cela m'a redonné bien confiance et je me suis dit que moi aussi je pouvais en faire un. Malheureusement notre moteur alpha n'a pas fonctionné malgré de longues après-midi de construction.

Ce projet m'a finalement bien intéressé à la mécanique malgré le fait que je ne ferais pas le département mécanique. Et j'ai trouvé fascinant encore une fois que l'on soit capable avec de simples matériaux de récupération de construire un moteur qui tourne et cela sans seulement avec l'aide d'une simple différence de température.

Gregory,

L'UV de P6-3, comme toutes les UV de projet en groupe, nous a permis de travailler à plusieurs, c'est à dire, de répartir les différentes tâches à réaliser entre tous les membres du groupe. Cependant le travail à fournir à fournir était complètement différent de celui auquel nous sommes habitués.

En effet, cette UV pourrait être rebaptisée « bricolage », car il a fallu construire un moteur Stirling avec nos propres moyens, qui ne sont pas très importants. Le travail à fournir s'apparente donc plus à du bricolage. C'est aussi cet aspect de l'UV qui est intéressant puisque nous avons été obligés de nous débrouiller seuls.

Nous pouvons donc dire que c'est nous et nous seuls qui avons construit ce moteur. De plus, le fait que l'on soit un grand groupe a permis le développement parallèle de deux moteurs même si celui de type alpha ne fonctionne pas. J'ai trouvé notamment ça construction très instructive puisqu'il fallait faire preuve d'imagination pour résoudre des problèmes auxquels nous n'avons jamais été confronté.

Je reste toujours admiratif quand je vois le moteur Nivea tourner sachant que son seul carburant n'est qu'une simple différence de température et que les matériaux utilisés n'ont rien d'extraordinaire !

Pour finir, il y avait une bonne entente dans le groupe, ce qui a facilité le travail. Tout le monde était motivé par le sujet qu'on nous avait attribué, c'était donc plus un plaisir de travailler sur le moteur qu'une obligation.

Nassim,

A la lecture des sujets de l'UV de P6-3 le sujet de « conception et réalisation d'un moteur Stirling » m'a tout de suite plu, se dire qu'on va construire un moteur c'est quelque chose quand même. Les premières semaines théoriques passées, et le refroidissement de nos ardeurs concernant les moteurs assez complexe à réaliser, je me suis rapidement pris au jeu de la construction en équipe avec chacun qui construit sa partie et avec l'assemblage pour sans cesse analyser ce qu'il faut retravailler.

Nos séances de P6-3 à et en dehors de l'INSA se passaient dans une très bonne ambiance et la réalisation d'un moteur qui marche assez rapidement nous a enlevé un gros poids des épaules pour pouvoir continuer sereinement et dans la bonne humeur.

Ce projet fut un véritable défi pour nous tous et voir fonctionner notre deuxième moteur fut une véritable joie et nous a motivé à encore plus l'améliorer.

Bien que notre groupe soit assez bien loti au niveau des outils, le manque d'outils adéquats pour certaines tâches nous a bien compliqué la tâche.

Au final ce choix a été très bon, le travail de groupe et le bricolage effectués ont été en accord avec mes attentes.

V. BIBLIOGRAPHIE

<i>Liens Internet :</i>	Date de validité :
http://www.photologie.fr/	Valide à la date du 20/06/09
http://www.moteurstirling.com/	Valide à la date du 20/06/09
http://fr.wikipedia.org/wiki/Moteur_Stirling	Valide à la date du 20/06/09

Table des Illustrations :

Tableau 1: Détail des différentes phases du projet.	8
Tableau 2: Phases de fonctionnement du moteur Alpha.....	11
Source : http://www.moteurstirling.com	
Tableau 3: Phases de fonctionnement du moteur Bêta.	12
Source : http://www.moteurstirling.com	
Tableau 4: Phases de fonctionnement du moteur Gamma.	13
Source : http://www.moteurstirling.com	
Tableau 5: Eléments du moteur Nivea 2.0.....	17
Tableau 6: Eléments constitutifs du moteur alpha et leur évolution	25
Tableau 7: Résultats expérimentaux 1.	28
Tableau 8: Résultats expérimentaux 2.	28
Tableau 9: Résultats expérimentaux 3.	29
Figure 1: Frise descriptive du déroulement de l'EC.....	7
Figure 2 : Cycle de Stirling	10
Source : http://www.moteurstirling.com	
Figure 3 La plaque, l'étanchéité et le piston.	15
Figure 4 Tige du piston sur la vis.....	16
Figure 5: Tige meulée.....	16
Figure 6: Un cylindre.	21
Figure 7: Un guide.....	22
Figure 8: Le guide et son piston associé.	22
Figure 9: Pistolet à colle.	23

Figure 10: L'axe et les 2 volants aux extrémités.	23
Figure 11: Le moteur Alpha dans sa première version.	23
Figure 12: Le moteur Alpha avec l'axe rééquilibré.	24
Figure 13: Schéma du capteur.	26
Figure 14: Schéma du système de mesure de puissance.....	27
Équation 1: Calcul de la vitesse angulaire. $\omega = 2\pi T$	27
Équation 2: Calcul du couple: $\Gamma = RD - P = RD - mg$	28
Équation 3: Calcul de la puissance: $P = \omega \cdot \Gamma$	29

VI. ANNEXES

VI.1. Perspectives.

Malgré ses nombreux avantages le moteur Stirling reste relativement peu utilisé. Pourtant dans la politique actuelle de limitation d'émissions de gaz à effet de serre, de chasse au gaspillage, ce moteur pourrait offrir de merveilleuses opportunités de produire de l'énergie propre et à un moindre coût. Il ne fait donc aucun doute que les plus beaux jours du Stirling sont devant lui.

Pour le moment les énergies propres les plus tendance sont le solaire, l'éolien et pourquoi pas l'énergie marée-motrice. Une étude plus approfondi de cette dernière technique pourrait être proposée aux futurs étudiants STPI2.

VI.2. Une gestion scientifique des ressources humaines.

En vue de rétablir l'ordre au sein de l'INSA de Rouen et de simplifier le modèle de gestion de l'école, les décisions suivantes ont été prises. La plus grande rigueur sera de mise pour leur application à la lettre et de cruels sévices physiques et moraux seront prévus contre les fauteurs de trouble.

Afin de cesser le désordre omniprésent, et donc de stopper l'entropie créée au sein de l'école, les élèves devront désormais adopter les comportements suivants:

- 1) Ne suivre que des chemins réversibles, en s'assurant d'être toujours capable de faire un pas en avant et trois pas en arrière. L'établissement décline toute responsabilité en cas de collision due à un élève marchant à reculons.

- 2) Adopter autant que faire se peut un caractère adiabatique en évitant tout contact chaleureux avec d'autres élèves. Toute chaleur humaine supprimée, nous veillerons à ce que les élèves soient capables de compenser leur énergie interne défaillante par un travail moins nul qu'à l'accoutumée, et cela par un soutien plus intensif. En bref, travailler plus pour travailler plus!

- 3) Cesser immédiatement de participer à toutes sortes d'orgies qui ont fâcheusement tendance à faire varier le volume des étudiants et qui pourraient induire des imperfections dans le modèle retenu.

- 4) Etre le plus froid et distant possible envers ses camarades. Ainsi la masse informe des étudiants pourra vaguement être assimilée à un gaz parfait, bien que chaque constituant n'a en général rien d'aérien ni d'idéal. De plus, lorsque le 0°K sera en passe d'être atteint, d'incroyables économies de chauffage, chères à votre sentiment écologique auront été effectuées. Cela permettra par ailleurs d'éliminer les plus faibles qui ne supporteraient pas l'air ambiant, et ce d'une façon encore plus efficace que le contrôle continu.