

Modélisation Du Moteur

Doyle Rotary Engine



Etudiants :

Nathan DUPREY

Julien TUCZAK

Louis NZALA-BACKA

Geoffrey PARIS

Xuming LI

Augustin SCHWARTZ

Enseignant-responsable du projet :

Didier VUILLAMY



Date de remise du rapport : **17/06/2019**

Référence du projet : **STPI/P6/2019 – 19**

Intitulé du projet : **Modélisation du moteur Doyle Rotary Engine**

Type de projet : **Bibliographie et Calcul**

Objectifs du projet (10 lignes maxi) :

Ce projet consiste en la modélisation du moteur Doyle Rotary Engine et plus précisément son fonctionnement à travers un tableur. Le groupe a effectué des recherches au fur et à mesure de la progression, dans le but de comprendre les sources d'inspirations.

Mots-clefs du projet : **Moteur Rotatif, Cycle séparé, Cinétique, Thermodynamique.**

TABLE DES MATIERES

Table des matières

1. Introduction.....	5
2. Méthodologie / Organisation du travail.....	6
3. Travail réalisé et résultats.....	7
3.1. Histoire des moteurs rotatifs et moteurs à cycles séparés.....	7
3.1.1. Les moteurs rotatifs :.....	7
3.1.2. Les moteurs à cycles séparés :.....	8
3.2. Le Doyle Rotary Engine.....	12
3.2.1. Description du Moteur.....	12
3.2.2. Cycle du moteur.....	13
3.2.3. Avantages et inconvénients par rapport à un moteur normal.....	14
3.3. <i>Calculs</i>	16
3.3.1. Cinétique.....	16
3.3.2. Thermodynamique.....	17
3.3.3. Calcul du couple.....	18
4. Conclusions et perspectives.....	20
4.1. Conclusions sur le travail réalisé.....	20
4.2. Conclusions sur l'apport personnel de cet E.C. projet.....	20
5. Bibliographie.....	21
6. Annexes	22
Tableur Excel des calculs.....	22

1. INTRODUCTION

Le développement du moteur à combustion interne, en tant que moteur d'entraînement principal, est bien connu depuis plus d'un siècle avec d'innombrables variations qui se sont développées au fil des années.

Les moteurs à cycles séparés semblent pouvoir apporter un grand nombre d'améliorations aux moteurs thermiques actuels, comme un meilleur rendement et une consommation réduite de carburant. Ces améliorations sont d'autant plus importantes de nos jours au vue des problématiques environnementales.

L'inventeur Lonny Doyle eut l'idée d'un moteur rotatif à cycle séparé dès 1985. De nombreux prototypes ont été créés et améliorés au fil des années, le rendement de ce type moteur est très important. Cela représente, une économie non négligeable et peut avoir de grande conséquence sur le parc automobile mondiale.

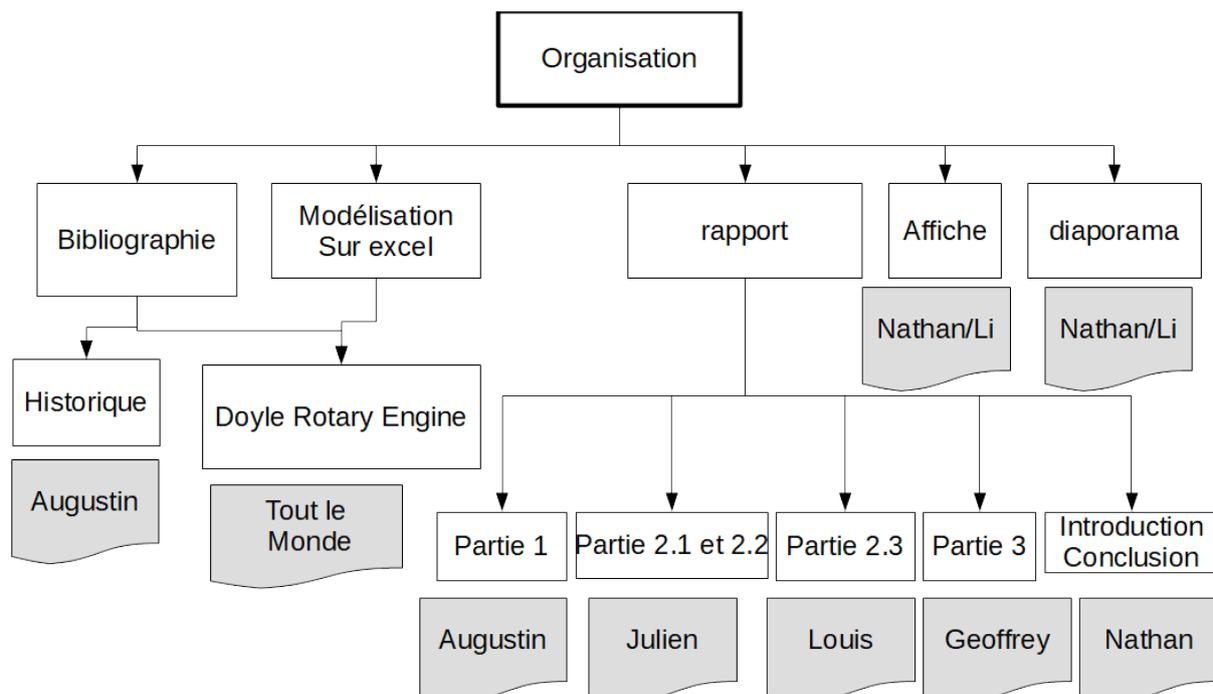
Notre projet porte sur l'étude du Doyle Rotary Engine. A travers des recherches bibliographiques et de nos connaissances, nous avons étudiés son fonctionnement. Tout d'abord, nous allons décrire les moteurs rotatifs et ceux à cycle séparés en général. Puis nous allons nous focaliser sur le fonctionnement du Doyle Rotary Engine, en expliquant la démarche de nos calculs.

2. MÉTHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

Pour ce projet de physique, nous avons été assignés au sujet suivant : Modélisation du moteur Doyle rotary Engine. Ce projet est encadré par M.VUILLAMY.

Dès les premières séances, nous avons pris connaissance de notre sujet, des outils pour l'étudier, notamment avec Excel et l'usage des macro dans les feuilles de données. L'encadrant M.VUILLAMY nous a montré et fourni les brevets concernant ce moteur.

La majorité des recherches ont été effectuées individuellement et mises en commun durant chaque séance afin d'avancer ensemble durant ce semestre.



3. TRAVAIL RÉALISÉ ET RÉSULTATS

3.1. Histoire des moteurs rotatifs et moteurs à cycles séparés

3.1.1. Les moteurs rotatifs :

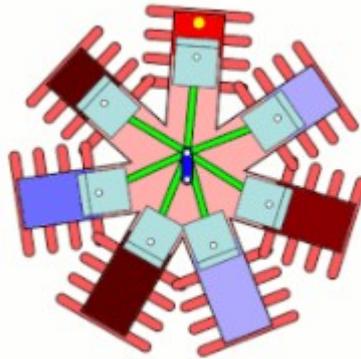
Un moteur rotatif est un moteur à combustion interne tournant autour de son vilebrequin qui reste fixe.

L'histoire de ce moteur est liée au développement de l'aviation, qui a connu une accélération spectaculaire avec la première guerre mondiale : il reste connu parce qu'il a été fabriqué en très grand nombre pour équiper les avions et hydravions de combat. Les marques les plus réputées à l'époque étaient Gnome et Rhône - qui donneront naissance à la SNECMA en 1946 d'une part, et Clerget d'autre part.

Sous la marque Clerget-Blin est lancé fin 1913 un nouveau moteur 9 cylindres rotatif en étoile de 110 chevaux refroidi par air, conçu par Pierre Clerget et baptisé 9A, suivi du célèbre modèle 9B de 130 chevaux en 1915. Au total, durant la Première Guerre Mondiale, plus de 30 000 moteurs Clerget ont été construits pour l'aviation militaire tant française que britannique. La fin de la guerre marque l'arrêt des commandes militaires ; l'obligation de reverser à l'Etat l'intégralité des revenus perçus pendant la guerre ruine l'industrie aéronautique française. Pierre Clerget continue toutefois à améliorer les performances des moteurs rotatifs pour l'aviation jusqu'à la 2^{de} guerre mondiale : il met au point un moteur à 14 cylindres alimenté au Diesel pour les avions (une 2^{de} version du modèle 14F est homologuée en 1938 avec une puissance de 520 chevaux). Il reste encore considéré comme l'un des plus grands ingénieurs motoristes français.¹

Les moteurs rotatifs à pistons se caractérisent par leur configuration en étoile : les cylindres sont disposés en étoile autour du vilebrequin fixé sur le bâti et tournent (cf schéma ci-dessous). Ainsi tout le moteur tourne, constamment refroidi par l'air et de façon très régulière en raison d'une forte inertie. Cette architecture en étoile est surtout plus compacte et plus légère.

¹ www.hydroretro.net/etudegh/clerget.pdf



*Illustration 1: Schéma
moteur rotatif
[https://fr.wikipedia.org/wiki/
Moteur_rotatif](https://fr.wikipedia.org/wiki/Moteur_rotatif)*

Le nombre de cylindres doit être impair pour obtenir un meilleur équilibrage et un cycle plus régulier : on compte 3, 5, 7 ou 9 cylindres pour un moteur en étoile simple. Le plus puissant moteur rotatif construit par Gnome et Rhône développait une puissance de près de 240 chevaux réels.

Toutefois ce type de moteur présente aussi des inconvénients importants, à savoir la consommation très élevée d'huile et de carburant et la maintenance très lourde. C'est principalement pour cela que les moteurs à pistons n'ont pas survécu à la seconde guerre mondiale, au profit des moteurs thermiques alternatifs qui équipent la quasi-totalité des véhicules actuels. Mais les moteurs rotatifs n'ont pas dit leur dernier mot face aux problématiques actuelles.

En effet en décentrant l'axe de rotation, l'inventeur Lonny Doyle a pu faciliter le fonctionnement de son moteur rotary Doyle. Les pistons s'enfoncent plus ou moins dans les cylindres en fonction de leur position, le mouvement des cylindres ainsi que l'entrée d'air est continu et le moteur n'a pas besoin d'ajout de masse puisqu'il est déjà équilibré grâce sa structure. De plus de nombre de pièces sont remplacées par rapport à un moteur classique, par exemple les soupapes sont remplacées par de simples ouvertures statiques qui permettent l'admission de gaz lorsque le cylindre passe en face de celle-ci.

Ces moteurs ne doivent pas être confondus avec les moteurs à piston rotatif, appelés abusivement moteurs rotatifs, et connus grâce à la marque Wankel qui a équipé certains véhicules de sport MAZDA (moteur à piston rotatif RENESIS sur les véhicules RX-8).

3.1.2. Les moteurs à cycles séparés :

PMH : moment où le piston est au point le plus haut de sa course dans un cylindre, juste avant qu'il ne reparte dans l'autre sens. (wikipedia)

1 Moteur Scuderi :

Ces moteurs fonctionnent sur 4 temps comme nos moteurs classiques mais les répartissent sur 2 cylindres appariés.²

L'admission et la compression se font dans le premier cylindre puis l'explosion, la détente et l'échappement dans le deuxième.

C'est le groupe américain Scuderi qui développe ce type de moteurs aux Etats-Unis, améliorant le rendement énergétique et réduisant ainsi sensiblement la consommation de carburant.

Les premiers moteurs à cycles divisés sont apparus en 1914, cependant ils avaient deux défauts majeurs. Premièrement une mauvaise respiration : les gaz restaient emprisonnés en haut du cylindre de compression. Deuxièmement un faible rendement thermique : l'allumage se faisant juste avant le PMH, le gaz allait se détendre dans le conduit de transfert entre les deux cylindres. Le gaz devait alors être recompressé avant une détente. Deux compressions pour une détente, donc un faible rendement.

Ces deux problèmes ont été corrigés dans le nouveau Scuderi grâce à deux innovations majeures : la première a été de remplacer les soupapes s'ouvrant vers l'intérieur par des soupapes vers l'extérieur dans le but de réduire la distance entre le piston au PMH et la culasse. Ainsi les gaz ne restent pas enfermés. La seconde a été de réaliser l'allumage après le PMH.

L'allumage après le point mort haut améliore considérablement le rendement et la propreté de la combustion dans un cylindre, tandis que l'air est comprimé dans l'autre. Le moteur Scuderi n'effectue qu'une seule révolution de vilebrequin par cycle de combustion, contre deux pour les moteurs conventionnels. Outre les améliorations en termes de rendement et d'émissions, les études montrent que le moteur Scuderi est capable de produire un niveau de couple supérieur à celui des moteurs à essence et diesel classiques ».

³

² <https://energethique.be/2009/petit-cours-theorique-les-moteurs-a-cycles-divises-vont-ils-envahir-le-marche>

³ <https://www.econologie.com/forums/consommer-moins-auto/moteur-scuderi-t8048.html>



*Illustration 2: Moteur Scuderi
(<https://www.turbo.fr/actualite-automobile/environnement-daimler-et-psa-sinteressent-au-moteur-scuderi-40762>)*

Le rendement du moteur Scuderi est 25% supérieur que la moyenne des véhicules européens. Sa consommation ne dépasse pas les 3,7 L / 100 km ce qui est comparable à celle des meilleures citadines ou SUV non hybrides commercialisés actuellement. ⁴

2 Moteur TourEngine :

Ce moteur se distingue par sa géométrie qui lui est propre. En effet ce moteur possède deux cylindres opposés reliés par une soupape, permettant un transfert de gaz entre les deux cylindres.

L'intérêt de ce moteur est de disposer d'un côté froid pour la compression, permettant au cylindre d'absorber un plus grand volume d'air, et un côté chaud pour l'explosion et la détente.

Le fonctionnement de ce moteur s'effectue en quatre étapes :

Dans un premier temps, on ouvre la soupape d'admission pour introduire du mélange air-essence dans le cylindre froid avant de la refermer. Ensuite, on comprime le mélange jusqu'à atteindre le Point Mort Haut. Puis on ouvre la valve de transfert entre les 2 cylindres qui laisse passer tout le mélange comprimé vers le cylindre chaud afin de réaliser l'explosion et la détente dans ce cylindre. C'est lors de cette phase de détente que va être produit le travail. Le travail est donc récupéré par le mouvement de rotation sur le vilebrequin du

⁴<https://www.caroom.fr/guide/voiture-neuve/auto-qui-consomme-le-moins>

cylindre Chaud. On termine par l'ouverture de la soupape d'échappement pour permettre la libération du gaz d'échappement .

Le rapport de compression entre les deux cylindres est différent. Le cylindre de détente est deux fois plus grand que le cylindre de compression ce qui augmente considérablement le rendement thermique. L'intérêt de ce moteur réside dans la soupape qui connecte directement les cylindres de compression et de détente et non un conduit. Un seul mouvement de vilebrequin permet de réaliser un cycle complet. Le principal défaut de ce moteur réside dans sa complexité : il nécessite un système de bielle précis, deux cylindres et deux vilebrequins. De plus le déphasage entre les deux vilebrequins doit rester constant.

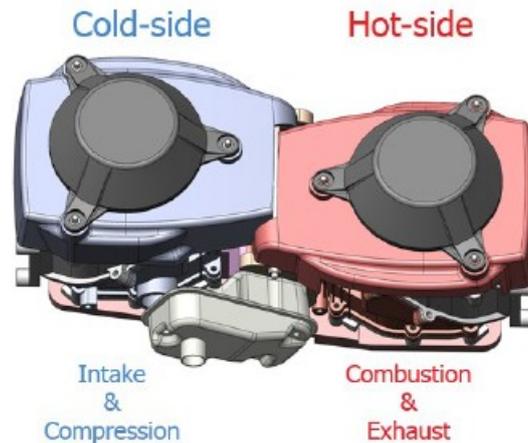


Illustration 3: illustration issue d'un projet de P6 de 2017 à l'insa rouen : Modélisation du moteur Tour Engine

Et le moteur rotatif Doyle dans tout ça ?

Son concept est défini ainsi : un concept de moteur à cycle divisé rotatif conçu pour remplacer les moteurs automobiles actuels. Il est plus petit et plus léger par unité de déplacement et a de nombreux gains d'efficacité par rapport aux moteurs conventionnels et autres concepts de moteur. ⁵

⁵ <https://www.thetruthaboutcars.com/2011/05/the-doyle-rotary-engine/>

3.2. Le Doyle Rotary Engine

3.2.1. Description du Moteur

Le Doyle Rotary Engine (DRE) est un moteur rotatif à cycle séparé. En effet, ce moteur possède un carter qui effectue des révolutions autour du vilebrequin stationnaire. Le DRE contient aussi 2 rangées de 6 cylindres disposées radialement. On observe alors que l'axe de rotation des rangées des cylindres est décalé par rapport à l'axe de révolution du carter. Il faut noter que les bielles des pistons sont attachées au carter. Cela permet une rotation 1:1 du carter et des cylindres/pistons.

Le DRE est un moteur à cycle séparé donc une rangée de cylindres va s'occuper de l'admission et de la compression de l'air tandis que l'autre va s'occuper de l'expansion du gaz ainsi que de l'échappement. La combustion se fait dans la chambre de combustion, à l'intérieur du vilebrequin. Cette chambre contient un injecteur qui injecte des gouttes d'essence, ainsi qu'une bougie qui permet de démarrer l'explosion du mélange air/essence.

On trouve aussi des conduits pour l'admission de l'air (en bleu) ainsi que pour l'échappement du gaz brûlé (en marron). Des joints sont placés autour du vilebrequin pour permettre une étanchéité complète du moteur.

Enfin des canaux (lumières) sont présents à la base du cylindre pour permettre la circulation de l'air et du gaz brûlé dans les différents conduits.

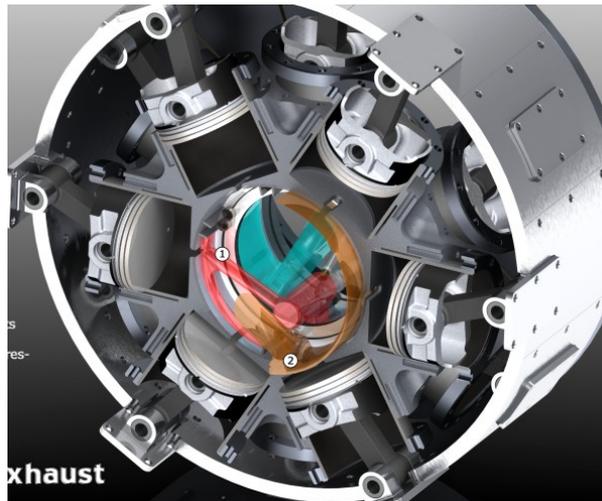


Illustration 4: Doyle rotary Engine
<https://contest.techbriefs.com/2011/entrees/sustainable-technologies/1159>

3.2.2. Cycle du moteur

Nous allons maintenant expliquer le cycle du moteur plus en détails.

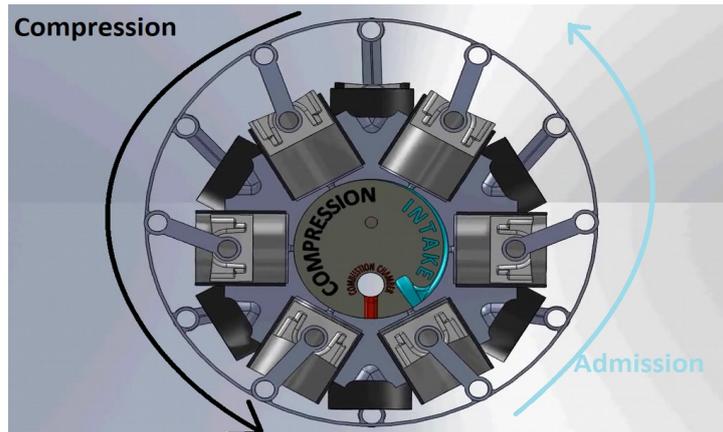


Illustration 5: Cylindres s'occupant de l'admission et de la compression, image provenant de la vidéo youtube de présentation du DRE

Dans un premier temps, l'admission de l'air est effectuée grâce au conduit d'admission. Le piston remonte dans sa course et va donc aspirer de l'air. On peut noter que 2 cylindres se remplissent d'air en même temps.

Arrivé au point mort bas (le cylindre a un volume maximum), le piston va commencer à compresser l'air dans le cylindre jusqu'à une position maximum, le point mort haut (volume minimum dans le cylindre). L'air comprimé traverse le canal à la base du cylindre pour arriver dans la chambre de combustion.

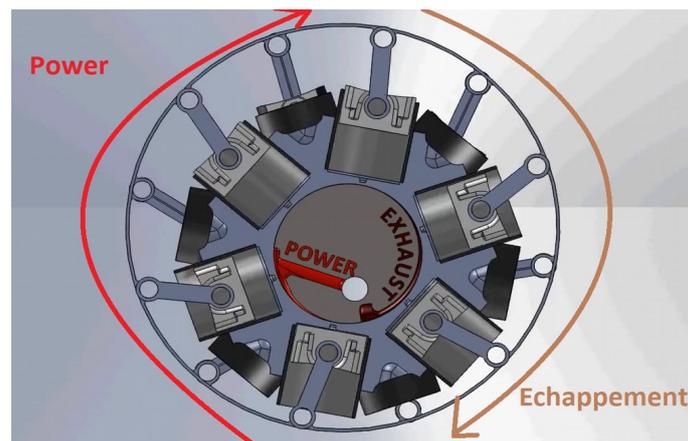


Illustration 6: cylindres s'occupant de la détente et de l'échappement, image provenant de la vidéo youtube de présentation du DRE

Ensuite, l'essence est ajoutée dans la chambre de combustion et la bougie s'allume pour effectuer l'explosion. Cette explosion va permettre au gaz de s'expandre dans le cylindre (de l'autre rangée). Ainsi, c'est à ce moment que le piston va travailler. On va donc observer un couple qui va être transmis à la bielle. Par conséquent, le carter va se mettre à tourner. En un tour, chaque cylindre aura travaillé.

Pour terminer, quand le piston va redescendre, il va expulser le gaz brûlé dans le conduit d'échappement.

3.2.3. Avantages et inconvénients par rapport à un moteur normal

1 Cycle séparé

L'utilisation de deux rangées de pistons s'avère très pratique pour un moteur. Une rangée de pistons effectue les courses d'admission et de compression tandis que l'autre rangée effectue les courses de puissance et d'échappement. La chambre de combustion centrale sépare ces deux rangées. Cette disposition est avantageuse car elle propose de nombreuses options qu'un moteur conventionnel n'a pas :

- Les deux rangées de pistons peuvent être conçues différemment
- Le carburant peut brûler plus longtemps et plus complètement dans la chambre de combustion.
- Les températures du mélange air-carburant avant l'allumage sont plus basses.

2 Durabilité et simplicité de fabrication

Contrairement aux moteurs modernes, qui dans un effort pour augmenter leur efficacité ont considérablement augmenté en complexité, le DRE se manifeste par sa simplicité. Il est plus simple à fabriquer car plusieurs parties de son moteur utilisent moins de pièces.

On peut prendre l'exemple qu'un moteur quatre cylindres conventionnelles utilise plus de 200 pièces pour gérer le système de soupapes. Alors que le DRE ne contient pas un tel système, mais des pièces qui peuvent s'ouvrir et se fermer instantanément. Ces orifices vont rester au même taux de débit beaucoup plus longtemps et auront donc une durée de vie bien plus grande.

3 Une chambre de combustion

Dans un moteur conventionnel, chaque chambre de combustion brûle légèrement différemment des autres. Cela s'explique par les différences de températures de fonctionnement, de longueur d'admission et d'échappement. Dans le Doyle Rotary, chaque cylindre utilise la même chambre de combustion. Cela augmente la constance de la puissance entre chaque cylindre, ce qui permet d'obtenir un moteur qui fonctionne plus en douceur et qui présente des caractéristiques d'usure constantes pour chaque pièce.

4 Pas de dispositif de commande de soupapes

L'élimination de ce dispositif présente de nombreux avantages. Il y aura moins d'énergie perdue pour cause de frottement et la fabrication et l'assemblage seront moins coûteux et plus simples. Il y a également la suppression des risques d'un grand nombre de défaillances, notamment :

- Joints de tête soufflés
- Rupture de la courroie de distribution

5 Plus petit et plus léger

L'élimination du dispositif de commande de soupapes et l'imbrication serrée des cylindres permet de gagner énormément d'espace.

2.3L Doyle Rotary Engine (without accesories)	Specification	2.3L Conventional Engine (without accesories)
9.5 inches	Length	25 inches
13.5 inches (diameter)	Width	23 inches
	Height	25 inches
45 pounds	Spinning Mass	60+ pounds
65 pounds	Total Mass	250 pounds

Illustration 7: Tableau des dimensions du DRE et d'un moteur conventionnel
<http://akshay-rockedge.blogspot.com/2012/04/doyle-rotary-engine.html>

6 Émission d'hydrocarbures

Les joints d'étanchéité du DRE ont besoin d'huile provenant d'un injecteur d'huile. Cette huile sera inévitablement brûlée lors du processus de combustion. Il en résulte une augmentation des émissions d'hydrocarbures. Il faut donc bien doser les injections d'huile pour respecter les réglementations.

7 Pistons chauds

En raison de la combustion presque constante, les pistons de puissance resteront très chauds. On peut y remédier de la même manière que pour les moteurs plus récents : en pulvérisant de l'huile sous les pistons.

3.3. Calculs

3.3.1. Cinétique

Dans un premier temps, nous avons dû déterminer la position des points importants du moteur en fonction de l'angle que formait un point particulier du moteur. Le moteur possède deux jeux de 6 cylindres cependant nous avons choisi de ne représenter qu'un seul des cylindres. Les deux jeux de cylindres ont des fonctions différentes mais tournent à la même vitesse étant sur la même pièce. Peu importe le numéro du cylindre, son comportement sera le même qu'un autre à une même position.

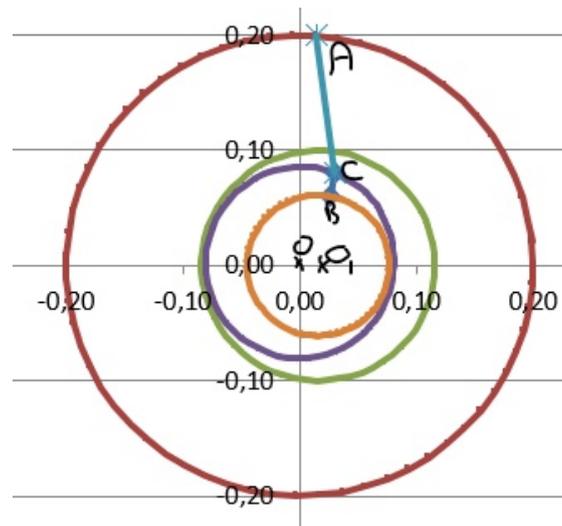


Illustration 8: Modélisation des positions de la bielle / cylindre / piston

Comme nous pouvons le voir sur le schéma, pour le cylindre considéré, le point A est le point d'attache de la bielle sur le plus grand cercle, le point B est la position basse du piston avec l'angle θ_b et le point C correspond à la position du piston. Les points O et O1, sont respectivement les centres des cercles formées par l'ensemble des points A et B sur un cycle.

Nous avons choisi d'exprimer les données du problème en fonction du point B car il tourne à une vitesse angulaire constante autour de son axe au point O1, et permet de commencer à $t_0=0$ avec un angle de 0 radian.

1 Positions des points

Les positions des points A et B sont calculées à partir de leur angle par rapport au centre du cercle et du rayon du cercle que nous avons fixé. Le point C est l'intersection entre la droite O1B et le cercle de centre A et de rayon b la longueur de la bielle. Mathématiquement, cela donne :

$$(x_C - x_A)^2 + (y_C - y_A)^2 = b^2$$

$$\frac{y_B - y_{O1}}{x_B - x_{O1}}(x_C - x_{O1}) = y_C$$

On obtient une équation du second degré et deux racines réelles pour le couple $(x_c; y_c)$. L'une des solutions est en dehors du moteur, elle est donc incohérente. Nous avons donc retenu la solution avec la distance O,C la plus petite pour que C soit toujours dans le moteur.

3.3.2. Thermodynamique

Nous nous sommes ensuite intéressés aux efforts exercés sur le piston et ceux fournis par le piston. Tout d'abord, nous avons cherché à avoir un rapport de compression du mélange air-essence entre 10 et 12. Le rapport de compression dépend de la longueur de la bielle, du rayon du grand cercle, du petit cercle et de l'excentrique ainsi que de la longueur du piston que nous n'avions pas encore défini. Nous avons donc fixé cette dernière valeur pour avoir un rapport légèrement au-dessus de 10.

Grâce aux dimensions du prototype de Lonny Doyle vues plus tôt, nous avons pu créer un modèle proche de celui qu'il avait imaginé. Ainsi, nous avons pu fixer le rayon du moteur à 20 cm et calculé le volume des cylindres pour obtenir une cylindrée de 2,3 L.

Nous avons déterminé la pression à la position morte haute et basse du piston. C'est à dire, quand le volume dans le cylindre est respectivement minimal et maximal. Le moteur comportant 2 cycles, la compression et la combustion se font dans deux cylindres différents. Nous avons donc dans le premier cylindre le cycle suivant :
Au début du cycle, le volume augmente et les gaz sont admis à pression ambiante. La pression est donc fixée à 1 bar. Quand le volume commence à diminuer, la pression augmente. Sa valeur est calculée grâce à la relation de Laplace. Nous supposons donc la compression adiabatique réversible car le temps nécessaire pour un cycle est très court.

$$P_0 V_0^\gamma = P V^\gamma$$

Soit α le rapport de compression du moteur défini par la relation : $\alpha = \frac{V_{ol_{max}}}{V_{ol_{min}}}$

$$P_{max} V_{min}^\gamma = P_{min} V_{max}^\gamma \Leftrightarrow P_{max} = \alpha^\gamma P_{min}$$

Ce qui correspond, avec notre valeur de α à environ : $P_{max} = 25 P_{min} = 25 \text{ bar}$

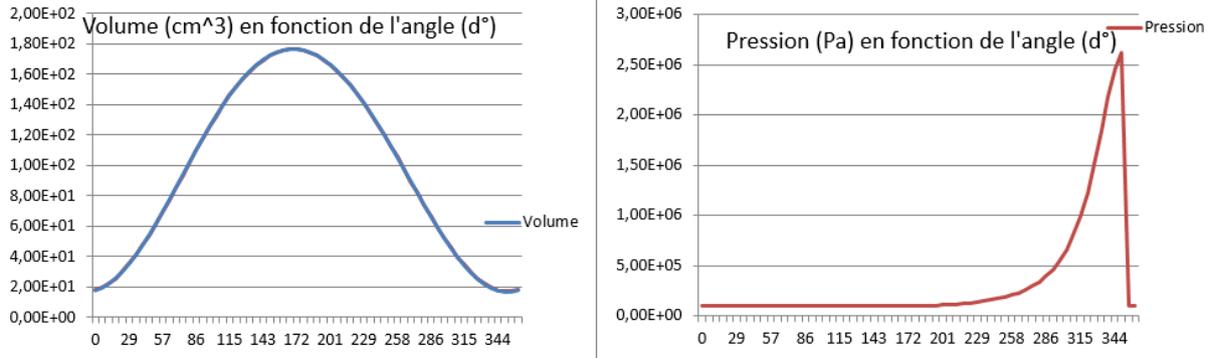


Illustration 9: Graphiques pour le cycle de compression

Alors que dans le deuxième cylindre, le cycle commence par l'explosion, s'en suit une détente due à la pression très importante, le volume augmente tandis que la pression diminue. Une fois que la majorité de l'effort de pression est transmis via la bielle, les gaz brûlés sont expulsés, la pression dans le cylindre retombe donc à la pression ambiante.

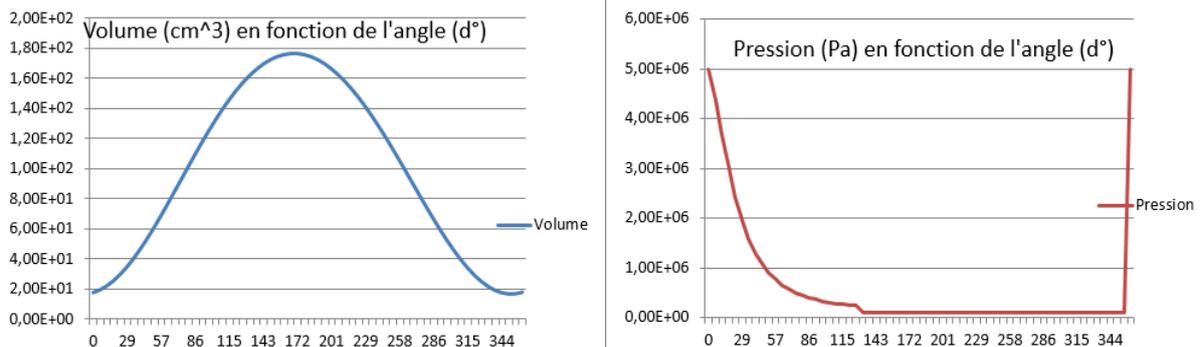


Illustration 10: Graphique pour le cycle d'explosion

3.3.3. Calcul du couple

Pour calculer le couple récupéré, nous avons utilisé la formule suivante :

$$C_p d\theta = P dV$$

Le couple fourni par le jeu de cylindres qui compressent le gaz est résistant, il s'oppose à la rotation du moteur. A l'inverse, l'autre jeu fournit un couple grâce à l'énergie libérée par l'explosion. Le couple du moteur est donc finalement la somme des deux couples multiplié par le nombre de paires de cylindres, soit 6.

En traçant sur un même diagramme PV les deux cycles, et en calculant l'aire entre les 2 courbes, on obtient le couple pour une paire de piston servant à mettre en rotation le moteur. Nous avons donc fait la différence entre la somme des trapèzes sous la courbe rouge et la somme des trapèzes sous la courbe bleue divisée par la variation de l'angle pour obtenir le couple total d'un cylindre.

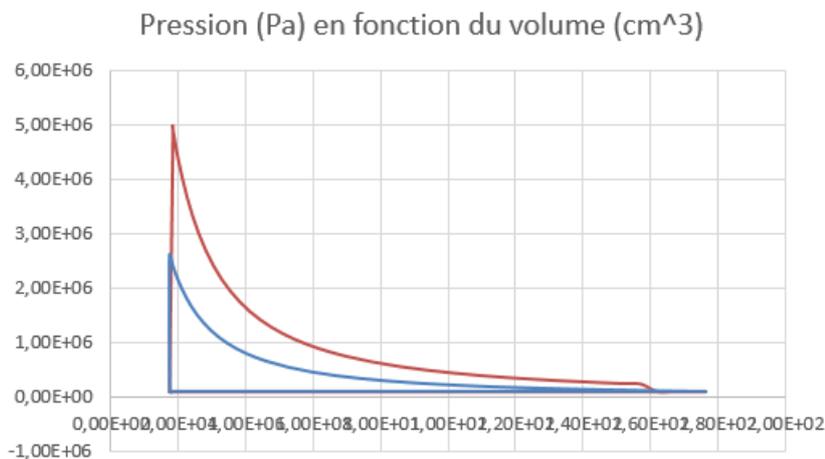


Illustration 11: Diagramme PV des deux cycles

Ce qui donne la formule suivante pour un seul cycle :

$$Cp_{cyl} = \left(\frac{[P(t_i) + P(t_{i+1})]}{2} - P_0 \right) (V_{i+1} - V_i) / d\theta$$

Puis pour le couple total du moteur :

$$Cp = 6 (1177 - 522) = 3930 Nm$$

4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

4.1. Conclusions sur le travail réalisé

Pour conclure, ce projet a été très enrichissant et est un plus dans notre formation d'ingénieur. En effet, même si l'on a étudié des moteurs dans notre 1^{ère} année à l'INSA, nous ne doutions pas que des moteurs combinant le fait d'être rotatifs et d'avoir un cycle séparé pouvait exister. Nous avons rencontré des difficultés concernant les recherches bibliographiques car ce moteur de part son originalité n'a pas donné lieu à des prototypes concluants et aussi que la majorité des sources le concernant sont en anglais. Mais les brevets sur celui-ci nous ont fourni une bonne base pour démarrer le projet.

Les températures du mélange air-carburant avant l'allumage étant plus basses, le rendement de ce moteur est plus élevé, aux alentours de 50 % ce qui est supérieur aux moteurs conventionnels. Malgré ce rendement, le moteur n'a pas encore intéressé l'industrie automobile, probablement à cause des problèmes liés à son refroidissement.

Dans nos modélisations cinématiques et thermodynamiques sur le logiciel Excel, nous avons décidé de ne pas prendre en compte les forces d'inerties dans nos calculs. En effet, celles-ci pointant vers l'extérieur sont donc négligeables.

Nous avons voulu modéliser le moteur sur à l'aide du logiciel SolidWorks mais nous avons dû abandonner l'idée pour manque de temps.

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

Ce projet nous a intrigué au début, puisque nous ne connaissions rien à son sujet, mais en avançant dans les séances, notre curiosité, nous a entraînés à étudier son fonctionnement. De plus, la majorité d'entre nous souhaitons aller dans les départements mécanique ou énergétique et propulsion pour la fin de notre formation. Le choix de ce projet a confirmé nos orientations dans ces départements.

L'étude de ce moteur, nous a permis d'en apprendre beaucoup plus sur le tableur Excel et la réalisation d'étude avec des macros.

Ensuite, sur le plan social cette nouvelle expérience de travail en groupe a été instructive et a permis d'améliorer notre esprit d'équipe. La répartition du travail fut une étape importante dans ce projet, cela a donné des responsabilités à tous les membres du groupe. C'est un esprit indispensable aux futurs ingénieurs que nous espérons devenir.

Enfin, nous voulons remercier M. VUILLAMY pour son aide et son soutien durant toute la durée du projet.

5. BIBLIOGRAPHIE

- 1 : www.hydroretro.net/etudegh/clerget.pdf (valide à la date du 24/05/2019).
- 2 : <https://energethique.be/2009/petit-cours-theorique-les-moteurs-a-cycles-divises-vont-ils-envahir-le-marche> (valide à la date du 14/06/2019).
- 3 : <https://www.econologie.com/forums/consommer-moins-auto/moteur-scuderi-t8048.html> (valide à la date du 14/06/2019).
- 4 : <https://www.caroom.fr/guide/voiture-neuve/auto-qui-consomme-le-moins> (valide à la date du 14/06/2019).
- 5 : <https://www.thetruthaboutcars.com/2011/05/the-doyle-rotary-engine/> (valide à la date du 14/06/2019).

Illustration 1: Schéma moteur rotatif (https://fr.wikipedia.org/wiki/Moteur_rotatif)

Illustration 2 : Moteur Sceduri (<https://www.turbo.fr/actualite-automobile/environnement-daimler-et-psa-sinteressent-au-moteur-scuderi-40762>)

Illustration 3 : illustration issue d'un projet de P6 de 2017 à l'insa rouen : Modélisation du moteur Tour Engine

Illustration 4 : Doyle rotary Engine (<https://contest.techbriefs.com/2011/entries/sustainable-technologies/1159>)

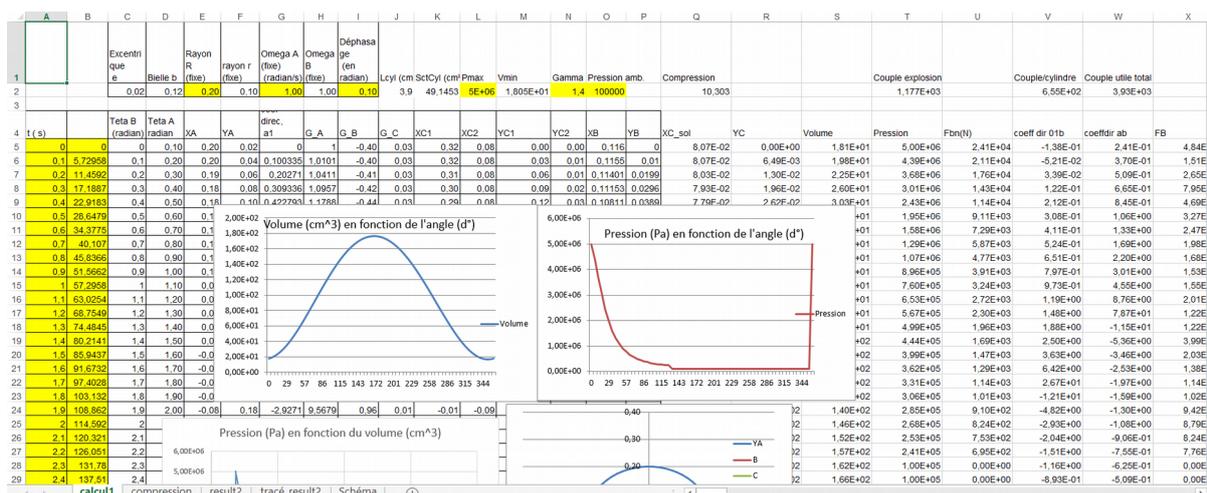
Illustration 5 : Cylindres s'occupant de l'admission et de la compression, image provenant de la vidéo youtube de présentation du DRE (<https://www.youtube.com/watch?v=Ij1kxbtsBSU>)

Illustration 6 : cylindres s'occupant de la détente et de l'échappement, image provenant de la vidéo youtube de présentation du DRE (<https://www.youtube.com/watch?v=Ij1kxbtsBSU>)

Illustration 7: Tableau des dimensions du DRE et d'un moteur conventionnel (<http://akshay-rockedge.blogspot.com/2012/04/doyle-rotary-engine.html>)

6. ANNEXES

Tableur Excel des calculs



Aperçu de la feuille de calcul du cycle de détente/échappement

```

Option Explicit
' *****
Function teta_B(omega_rd, t) As Double ' elle donne l'angle tetaB
teta_B = omega_rd * t
End Function
' *****
Function teta_A(omega_rd, t, dephasage_rd) As Double ' elle donne l'angle tetaA
teta_A = omega_rd * t + dephasage_rd
End Function
' *****
Function X_A(GR, teta_A_rd) As Double
X_A = GR * Cos(teta_A_rd)
End Function
' *****
Function Y_A(GR, teta_A_rd) As Double
Y_A = GR * Sin(teta_A_rd)
End Function
' *****
Function X_B(pR, teta_B_rd, excent) As Double
X_B = excent + pR * Cos(teta_B_rd)
End Function
' *****
Function Y_B(pR, teta_B_rd) As Double
Y_B = pR * Sin(teta_B_rd)
End Function
' *****
Function X_D(pR, teta_B_rd, excent, lcy1) As Double
X_D = excent + (pR - lcy1) * Cos(teta_B_rd)
End Function
' *****
Function Y_D(pR, teta_B_rd, lcy1) As Double
Y_D = (pR - lcy1) * Sin(teta_B_rd)
End Function
' *****
Function G_A(al) As Double
G_A = 1 + al * al
End Function
' *****
Function G_B(X_A, Y_A, al, excent) As Double
G_B = -2 * X_A - 2 * al * (al * excent + Y_A)
End Function

```

Macros utilisées dans les calculs (partie 1)



```

Function G_C(X_A, Y_A, al, excent, Bielle) As Double
G_C = (X_A * X_A) + (al * excent + Y_A) * (al * excent + Y_A) - Bielle * Bielle
End Function
' *****

Function Delta_f(G_A, G_B, G_C) As Double
Delta_f = G_B * G_B - 4 * G_A * G_C
End Function
' *****

Function XC1_f(G_A, G_B, G_C) As Double
Dim delta As Double
delta = Delta_f(G_A, G_B, G_C)
XC1_f = (-G_B + Sqr(delta)) / 2 / G_A
End Function
' *****

Function XC2_f(G_A, G_B, G_C) As Double
Dim delta As Double
delta = Delta_f(G_A, G_B, G_C)
XC2_f = (-G_B - Sqr(delta)) / 2 / G_A
End Function
' *****

Function Y_C(X_C, al, excent) As Double
Y_C = al * (X_C - excent)
End Function
' *****

Function XC_sol_f(X_C1, X_C2, Y_C1, Y_C2) As Double
Dim mod_1, mod_2 As Double
mod_1 = X_C1 * X_C1 + Y_C1 * Y_C1
mod_2 = X_C2 * X_C2 + Y_C2 * Y_C2
XC_sol_f = X_C2
If mod_1 < mod_2 Then XC_sol_f = X_C1
End Function
' *****

Function volume_f(lcyl, Sect, X_B, X_C, Y_B, Y_C) As Double
Dim a As Double, b As Double
a = (X_B - X_C) * (X_B - X_C) + (Y_B - Y_C) * (Y_B - Y_C)
b = lcyl - Sqr(a) * 100
volume_f = b * Sect
End Function

```

Macros utilisées dans les calculs (partie 2)