

People's Democratic Republic of Algeria  
Ministry of Higher Education and Scientific Research  
Mohamed Boudiaf University of M'sila  
Faculty of Technology



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
جامعة المسيلة  
كلية التكنولوجيا

---

Département de Génie Mécanique

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

**MASTER**  
En Génie Mécanique

**Option** : Construction Mécanique

Présenté par :

BESSAI Abdel basset & BENKHELIL Aboubaker Idris

**Thème**

---

---

# Etude Dynamique et Dimensionnelle du Moteur Wankel

---

---

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Qualité
ZEGGANE Houari	MCB	Président
ZERGANE Said	MCA	Encadreur
KHALDOUN Abderraouf	MCA	Examineur

Année Universitaire : 2022 / 2023

N° d'ordre : GM/...../2022

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# *Dédicaces*

*Nous offrons cette dédicace.*

- *Chers parents, chères mères. Pour leur patience, leur amour et leur soutien  
Encouragement.*
- *Amis et frères*
- *Sans oublier tous les enseignants Enseignement primaire, intermédiaire ou  
secondaire, Enseignement supérieur.*

## ***Remerciements***

Merci tout d'abord, Dieu remercie notre Créateur de nous avoir donné la force de faire ce travail. Nous voudrions exprimer notre gratitude à nos superviseurs

**DR. ZERGANE SAID**

Pour leur acceptation de diriger ce projet fin d'étude également pour ses précieux conseils et encouragements. Tous les étudiants du département de génie mécanique, pour tous les enseignants du département de génie mécanique À tous ceux qui nous ont aidés ou aidés pendant notre travail, sans oublier les grands remerciements aux parents. Exprimant notre gratitude pour tout ce que nous disons, merci

# *Table des Matières*

Introduction Générale

## **Chapitre I : GENERALITES SUR LES MOTEURS THERMIQUES**

I.1 Introduction .....	02
I.2. Historique .....	02
I.3. Types de moteurs .....	03
I.3.1 Les moteur à quatre temps et deux temps .....	03
I.3.1.1. Les moteurs à 4 temps .....	03
I.3.1.2. Les moteurs à 2 temps .....	03
I.3.2. Moteurs à combustion interne à piston alternatif .....	05
I.3.2.1. Le piston alternatif .....	05
I.4. Principe de fonctionnement .....	06
1.4.1. Système bielle manivelle .....	06
I.4.2. Composition principale du moteur à combustion interne alternatifs .....	07
I.4.3. Moteurs à essence et moteur Diesel .....	08
I.4.3.1. Les moteurs à allumage commandé (à essence) .....	08
I.4.3.2. Les moteurs Diesel .....	09
I.5. Les moteurs à piston Wankel .....	09
I.5.1. Principe de fonctionnement .....	10
I.5.2. Cycle du moteur Wankel .....	11
I.5.3. Caractéristiques des moteurs Wankel .....	12
I.5.3.1. Admission .....	13
I.5.3.2. Allumage .....	13
I.5.3.3. Lubrification .....	13
I.5.3.4. Refroidissement .....	15
I.5.4. Avantages et inconvénients du moteur Wankel .....	15
I.5.4.1. Avantages .....	15

I.5.4.2. Inconvénients .....	15
------------------------------	----

## Chapiter II : Bilan énergétique et dimensionnement du moteur WANKEL

II. 1 Dimensionnement du moteur WANKEL .....	16
II.1.1 Volume de la chambre .....	16
II.1.2 Déplacement .....	17
II. 2 Bilan énergétique .....	18
II.2.1 Travail échange d'énergie .....	18
II.2.1.1 Puissance moyenne indiquée ( $P_i$ ) .....	18
II.2.1.2 Puissance effective ( $P_e$ ) .....	19
II.2.1.3 Consommation spécifique indiquée ( $bi$ ) .....	20
II.2.1.4 Consommation spécifique effective ( $be$ ) .....	20
II.2.2 Les diagramme ( $PV$ ) ( $TS$ ) .....	20
II.2.2.1 Diagramme $PV$ .....	20
II.2.2.2 Diagramme $TS$ .....	22
II.2.3 cycles real .....	23
II.2.4 Rendements .....	24
II.2.4.1 Rendement mécanique .....	24
II.2.4.2 Rendement indiqué ( $\eta_i$ ) .....	24
II.2.4.3 Rendement effectif ( $\eta_e$ ) .....	25

## Chapitre III: La Modélisation par logiciel Solidworks

III.1 Introduction .....	27
III.2 Les partis de ce moteur .....	27
III.2.1 Piston .....	27
III.2.2 Block moteur .....	28
III.2.3 Vilebrequin .....	28
III.2.4 Les plaques de moteur (plaque avant, plaque centrale, plaque arrière) .....	28
III.2.5 Les train (avant, arrière ) .....	30

III.2.6 bougie d'allumage .....	31
III.3 Définition de logiciel utilisé .....	31
III.3.1 Le Solidworks .....	31
III.4 La Modélisation.....	32
III.4.1 Esquisses .....	33
III.4.2 Fonctions .....	34
III.4.3 Réalisation de l'assemblage .....	35
III.5 La modélisation du moteur .....	37
III.5.1 le piston .....	37
III.5.2 Block moteur .....	38
III.5.3 Vilebrequin .....	39
III.5.4 Les plaque de moteur (plaque avant, plaque centrale, plaque arrière) .....	40
III.5.4.1 Plaque avant .....	40
III.5.4.2 plaque centrale .....	42
III.5.4.3 plaque arrière .....	43
III.5.5 Les train .....	44
III.5.6 Bougie d'allumage .....	45
III.5.7 Assemblage Final .....	46
Conclusion Générale. ....	48
Références Bibliographiques. ....	49

# Liste des figures

## Chapitre I

Fig. I.1 Les quatre opérations d'un moteur à 4 temps .....	03
Fig. I.2 Moteur à deux temps .....	04
Fig. I.3 Système bielle-manivelle .....	07
Fig. I.4 Composition d'un moteur à piston alternatif .....	08
Fig. I.5 Moteur Wankel .....	10
Fig. I.6 Principe du moteur Wankel .....	11
Fig. I.7 Cycle du moteur Wankel .....	12

## Chapitre II

Figure II.1 Dimensionnement du moteur WANKEL	17
Figure II. 2 Diagramme PV	21
Figure II.3 Diagramme TS	22
Figure II.4 Diagramme (PV) du cycle réel d'un moteur Wankel	24

## Chapitre III

Fig.III.1 le moteur Wankel en SolidWorks	27
Fig.III.2 piston relatif	28
Fig.III.3 block moteur	28
Fig.III.4 Vilebrequin	29
Fig.III.5 plaques Avant	29
Fig.III.6 plaque centrale	30
Fig.III.7 plaques arrière	30
Fig.III.8 trains	31
Fig.III.9 bougies d'allumage	31

Fig.III.10 Choix du module	32
Fig.III.11 Gestionnaire de commandes	33
Fig.III.12 la barre d'outils Esquisse	33
Fig.III.13 Esquisse de block	33
Fig.III.14 Onglet Fonctions	34
Fig.III.15 Fonction Base/Bossage extrudé de 80 mm	34
Fig.III.16 pièce finale obtenue	35
Fig.III.17 Différentes contraintes possibles	36
Fig.III.18 la barre d'outils Assemblage	36
Fig.III.19 miss en plan de piston	37
Fig.III.20 Piston en SolidWorks	38
Fig.III.21 miss en plan de block moteur	38
Fig.III.22. Pièce finale block	39
Fig.III.23 miss en plan de vilebrequin	39
Fig.III.24 Miss en plan de plaque avant	40
Fig.III.25 pièce finale de vilebrequin obtenue	41
Fig.III.26 pièce finale de plaque avant obtenue	41
Fig.III.27 Miss en plan de plaque central	42
Fig.III.28 pièce finale de plaque central	43
Fig.III.29 Miss en plan de plaque	43
Fig.III.30 plaque arriérée en SolidWorks	44
Fig.III.31 miss en plan du train	44
Fig.III.32 trains en SolidWorks	45
Fig.III.33 miss en plan du bougie d'allumage	45
Fig.III.34 bougies d'allumage en SolidWorks	46
Fig.III.35 miss en plan d'assemblage	46
Fig.III.36 assemblage final	47

# *Liste des Tableaux*

## Chapitre I

Tableau I.1 le fonctionnement d'un moteur MCI à quatre temps

04

***CHAPITRE I***

***GENERALITES***

***SUR***

***LES MOTEURS***

***THERMIQUES***

## I.1 Introduction

Un moteur à combustion interne est un dispositif mécanique qui utilise la combustion d'un carburant pour produire de l'énergie mécanique utilisée dans diverses applications telles que les machines, les véhicules et les équipements. Le fonctionnement d'un moteur à combustion interne repose sur le principe de la combustion d'un mélange de carburant et d'air dans une chambre de combustion. Cette combustion génère de la chaleur et des gaz qui exercent une pression sur un piston, entraînant ainsi son déplacement et la conversion de l'énergie thermique en énergie mécanique. Les moteurs à combustion interne sont couramment utilisés dans une variété de véhicules et d'équipements, tels que les voitures, les camions, les motos, les avions, les bateaux, les générateurs et les tondeuses à gazon. Ils peuvent fonctionner avec différents types de carburants tels que l'essence, le diesel, le gaz naturel, l'éthanol, le propane, et ainsi de suite.

## I.2. Historique

En 1801, Philippe Lebon dépose un brevet pour un moteur à gaz à combustion interne, mais son projet ne se concrétise pas et Lebon décède en 1804 sans avoir pu présenter son invention. François Isaac de Rivaz dépose quant à lui un brevet le 30 janvier 1807 concernant un moteur à combustion interne. Le premier moteur à deux temps est imaginé et réalisé par Étienne Lenoir en 1860, fonctionnant selon le cycle de Lenoir. Un dispositif similaire à un moteur à combustion interne, utilisé pour alimenter en eau les jardins du palais de Versailles sous Louis XIV, est conçu par Christian Huygens en 1673 et construit en 1685, mais il brûlait de la poudre. Vers 1862, Otto et Langen, des Allemands, entreprennent des améliorations sur le moteur à deux temps de Lenoir en synchronisant les mouvements dans la phase de compression. Cependant, ce moteur diffère considérablement des moteurs actuels, car il s'agit d'un moteur atmosphérique où le piston exerce un travail moteur sur l'arbre uniquement au début de la phase d'échappement. En 1864, l'entreprise Motorenfabrik Otto & Cie, fondée à Cologne, donne naissance à la Deutz AG, une société de construction de matériel agricole qui existe toujours. Cette même année, Otto développe un moteur à combustion à quatre temps qu'il fait breveter en Allemagne. Cependant, en raison d'une revendication d'antériorité de Beau de Rochas devant les tribunaux, ce brevet est annulé en 1886. Gottlieb Daimler et Carl Benz, puis indépendamment, Siegfried Marcus à Vienne à partir de 1889, construisent leurs premiers tracteurs en utilisant le moteur Otto.

### I.3. Types de moteurs

Les moteurs à combustion interne sont classés sur plusieurs catégories

#### I.3.1. Les moteurs à quatre temps et deux temps

Les moteurs à 4 temps et à 2 temps sont deux types de moteurs à combustion interne qui fonctionnent différemment.

##### I.3.1.1. Les moteurs à 4 temps

Le fonctionnement des moteurs à quatre temps suit un cycle comprenant quatre phases distinctes : admission, compression, combustion et échappement. Pendant la phase d'admission, le piston descend, permettant à un mélange d'air et de carburant d'entrer dans la chambre de combustion. Lors de la phase de compression, le piston remonte pour comprimer le mélange dans la chambre. Ensuite, lors de la phase de combustion, une étincelle provoque l'explosion du mélange comprimé, ce qui pousse le piston vers le bas, générant ainsi de l'énergie mécanique. Enfin, lors de la phase d'échappement, le piston remonte à nouveau pour évacuer les gaz brûlés de la chambre de combustion (Fig. I.1).

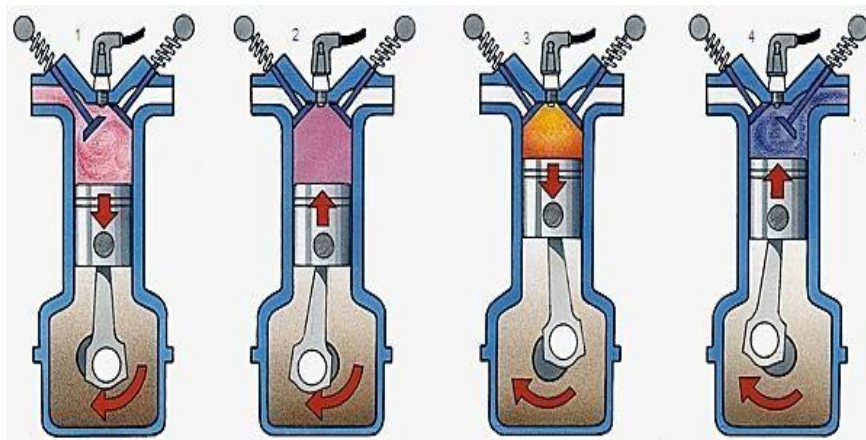


Fig. I.1 Les quatre opérations d'un moteur à 4 temps

##### I.3.1.2. Les moteurs à 2 temps

Les moteurs à 2 temps suivent un cycle en deux temps : admission/compression et combustion/échappement. Dans le temps d'admission/compression, le mélange d'air et de carburant est aspiré dans la chambre de combustion et comprimé par le piston en même temps. Dans le temps de combustion/échappement, le mélange comprimé est allumé et brûlé, ce qui pousse le piston vers le bas et évacue les gaz brûlés en même temps (Fig. I.2).

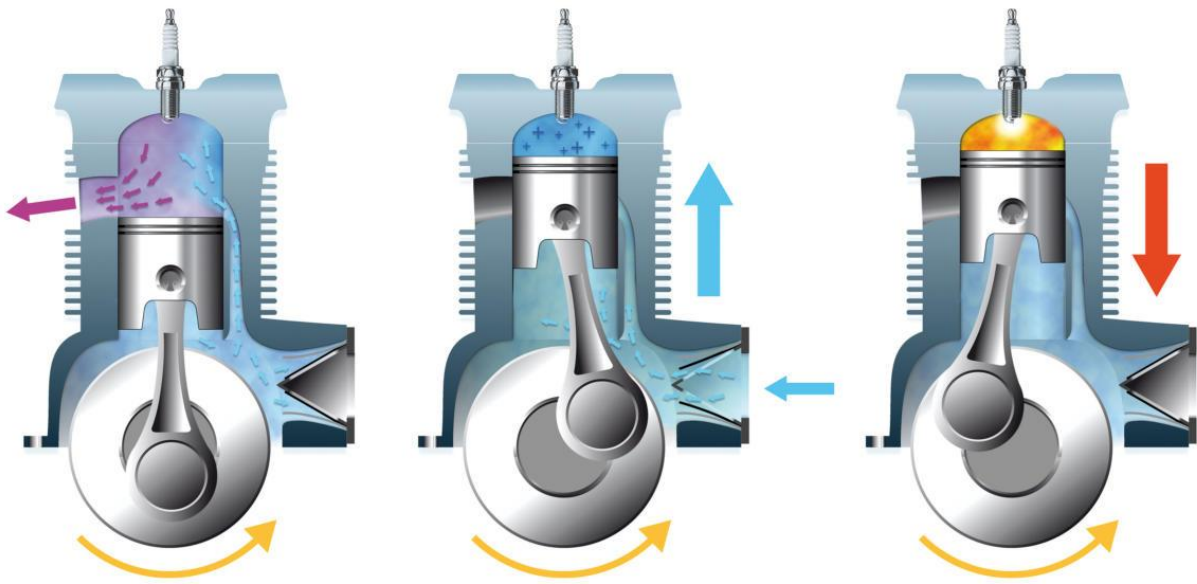
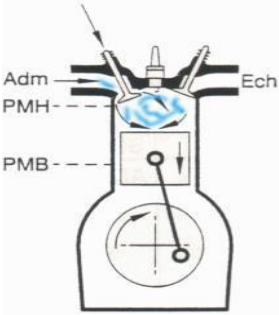

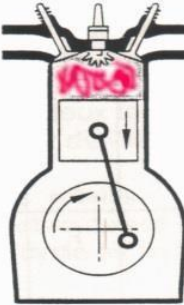



Fig. I.2 Moteur à deux temps

Les moteurs à quatre temps sont caractérisés par leur complexité et leur vitesse de fonctionnement plus lente par rapport aux moteurs à deux temps. Toutefois, ils se distinguent également par leur efficacité supérieure et leur économie de carburant optimisée. En revanche, les moteurs à deux temps sont connus pour leur simplicité et leur légèreté, mais ils présentent une combustion moins complète et une moindre efficacité énergétique (Voir tableau I.1). Le piston effectue un mouvement alternatif de translation entre le PMH et le PMB.

Tableau I.1 le fonctionnement d'un moteur MCI à quatre temps

TEMPS	DEPLACEMENTS		POSITIONS SOUPAPES		OPERATIONS
	Schéma	Piston et vilebrequin	Adm.	Ech.	

<p><b>ADMISSION</b></p>		<p>Le piston descend 180°</p>	<p><b>Over</b></p>	<p><b>Ferm</b></p>	<p>Le piston en descendant crée une baisse de pression qui favorise l'aspiration des gaz.</p>
<p><b>COMPRESSI ON</b></p>		<p>Le piston monte 180°</p>	<p><b>Fermi</b></p>	<p><b>Fermi</b></p>	<p>Le piston comprime les gaz jusqu'à ce qu'ils n'occupent plus que la chambre de combustion (pression + chaleur).</p>
<p><b>COMBUSTI ON DETENTE</b></p>		<p>Le piston descend 180°</p>	<p><b>Fermi</b></p>	<p><b>Fermi</b></p>	<p>L'étincelle (ou l'injection de gazole comprimé) enflamme le mélange. La chaleur dégagée dilate le gaz qui pousse le piston vers le bas.</p>
<p><b>ECHAPPEM ENT</b></p>		<p>Le piston monte 180°</p>	<p><b>Fermi</b></p>	<p><b>Over</b></p>	<p>En remontant, le piston chasse les gaz brûlés devant lui. A ce moment, le moteur se trouve à nouveau prêt à effectuer le premier temps.</p>

### I.3.2. Moteurs à combustion interne à piston alternatif

#### I.3.2.1. Le piston alternatif

Les moteurs à pistons alternatifs sont des types de moteurs à combustion interne où le mouvement linéaire du piston est converti en mouvement rotatif à l'aide d'un vilebrequin. Ces moteurs sont largement utilisés dans l'industrie automobile, l'aéronautique et d'autres domaines industriels.

On peut distinguer deux catégories principales de moteurs à pistons alternatifs : les moteurs à deux temps et les moteurs à quatre temps. Les moteurs à deux temps effectuent un cycle de combustion complet pour chaque rotation du vilebrequin, tandis que les moteurs à quatre temps effectuent un cycle complet sur deux rotations du vilebrequin. Les moteurs à pistons alternatifs peuvent fonctionner avec différents types de carburant, tels que l'essence, le diesel, le gaz naturel, voire l'hydrogène. Ils peuvent être refroidis par air ou par liquide, et leur configuration peut varier en termes de nombre de cylindres, allant d'un seul cylindre à douze cylindres ou plus dans les applications de plus grande envergure. En outre, les moteurs à pistons alternatifs peuvent être classés en fonction de la disposition de leurs cylindres. Les configurations courantes comprennent les moteurs en ligne, les moteurs en V, les moteurs à plat et les moteurs en étoile.

Ces moteurs présentent des avantages tels qu'une puissance élevée par rapport à leur taille, une fiabilité accrue et une efficacité énergétique élevée. Cependant, ils ont également des inconvénients tels qu'un poids élevé, des vibrations, des niveaux sonores importants et une usure plus prononcée par rapport à d'autres types de moteurs

## **I.4. Principe de fonctionnement**

### **1.4.1. Système bielle manivelle**

Le système bielle-manivelle est un système mécanique couramment utilisé pour transformer le mouvement linéaire en mouvement circulaire. Il est utilisé dans de nombreuses applications, notamment dans les moteurs à combustion interne, les machines industrielles, les outils électriques, les pompes et les compresseurs.

Le système bielle-manivelle se compose de deux éléments principaux : la bielle et la manivelle. La bielle est une tige qui relie le piston à la manivelle, tandis que la manivelle est une tige rotative qui transforme le mouvement linéaire en mouvement circulaire. Lorsque le piston se déplace de haut en bas dans un mouvement linéaire, la bielle se déplace en ligne droite, poussant la manivelle dans un mouvement de rotation. Lorsque le piston se déplace de bas en haut, la bielle tire la manivelle dans l'autre sens. Le système bielle-manivelle est utilisé dans les moteurs à combustion interne pour transformer le mouvement linéaire du piston en mouvement circulaire du vilebrequin, qui est finalement transmis aux roues pour propulser le véhicule. Dans les machines industrielles, ce système est utilisé pour transformer le

mouvement linéaire en mouvement rotatif pour faire fonctionner des machines telles que des scies, des perceuses et des ponceuses. Le système bielle-manivelle est une invention ancienne (Fig. I.3), qui remonte à l'Antiquité. Cependant, il est encore largement utilisé aujourd'hui dans de nombreuses applications, grâce à sa simplicité et à son efficacité.

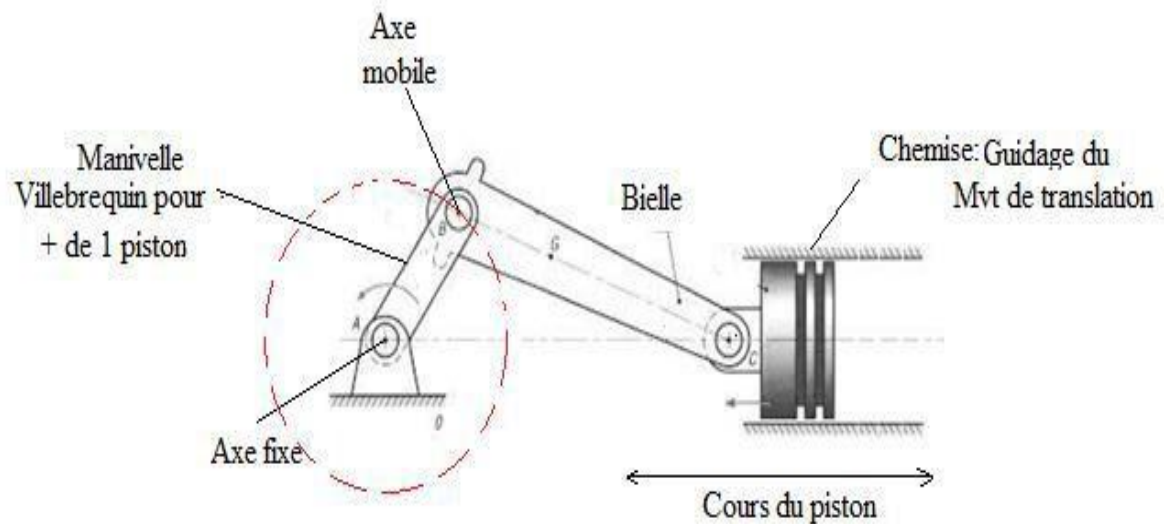


Fig. I.3 Système bielle-manivelle

#### I.4.2. Composition principale du moteur à combustion interne alternatifs

Comme nous indique la figure I.4, un moteur à combustion interne se compose principalement de :

- |                           |                           |
|---------------------------|---------------------------|
| 1 - Pompe à eau           | 11 - Tubulure d'admission |
| 2 - Courroie distribution | 12 - Volant moteur        |
| 3 - Soupape               | 13 - Carter moteur        |
| 4 - Arbre à cames         | 14 - Bielle               |
| 5 - Bougie                | 15 - Carter d'huile       |
| 6 - Injecteur             | 16 - Filtre à huile       |
| 7 - Culasse               | 17 - Pompe à huile        |
| 8 - Allumeur              | 18 - Vilebrequin          |
| 9 - Boîtier sortie d'eau  | 19 - Piston               |
| 10 - Reniflard            | 20 - Chemise              |

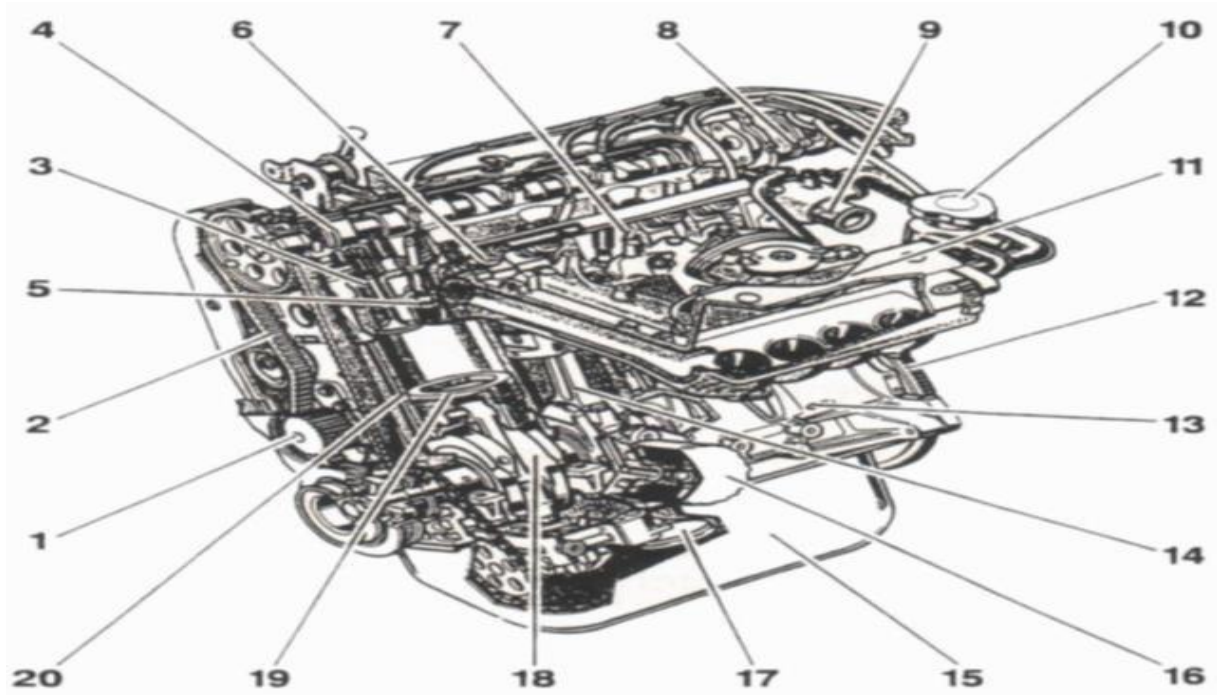


Fig. I.4 Composition d'un moteur à piston alternatif

### I.4.3. Moteurs à essence et moteur Diesel

#### I.4.3.1. Les moteurs à allumage commandé (à essence)

Les moteurs à allumage commandé, communément appelés moteurs à essence, sont des types de moteurs à combustion interne qui utilisent un mélange d'air et de carburant (généralement de l'essence). Ce mélange est enflammé par une bougie d'allumage, ce qui provoque une combustion dans le cylindre du moteur. La force résultante pousse le piston vers le bas et fait tourner le vilebrequin, convertissant ainsi l'énergie thermique en énergie mécanique.

Il est possible d'équiper les moteurs à essence d'un système de suralimentation, comme un turbocompresseur, pour augmenter la quantité d'air aspiré dans le cylindre et ainsi accroître la puissance du moteur. Cependant, ces moteurs présentent une efficacité énergétique inférieure à celle des moteurs diesel en raison d'une compression plus faible et d'une combustion moins complète du mélange carburant-air.

Les moteurs à essence sont largement utilisés dans les voitures particulières et les motos en raison de leur souplesse et de leur capacité à fournir une puissance élevée à des

régimes élevés. Toutefois, dans les véhicules utilitaires, les navires et les avions, ils sont souvent remplacés par des moteurs diesel ou hybrides en raison de leur efficacité énergétique moindre.

#### **I.4.3.2. Les moteurs Diesel**

Les moteurs à combustion Diesel, également connus sous le nom de moteurs Diesel, sont des types de moteurs à combustion interne qui fonctionnent en utilisant de l'air fortement comprimé pour allumer le carburant diesel. Contrairement aux moteurs à essence, il n'y a pas de bougie d'allumage, la chaleur nécessaire à la combustion étant générée par la compression de l'air. Lorsque le carburant diesel est injecté dans le cylindre, il est vaporisé et mélangé à l'air chaud et comprimé, provoquant une combustion qui pousse le piston vers le bas et fait tourner le vilebrequin, transformant ainsi l'énergie thermique en énergie mécanique. Les moteurs Diesel ont une efficacité énergétique plus élevée que les moteurs à essence en raison de leur plus grande compression et de leur combustion plus complète du carburant, ce qui leur permet de fournir plus de puissance tout en consommant moins de carburant. Cependant, ils ont une plage de régimes plus limitée que les moteurs à essence et sont moins souples. Ils sont souvent utilisés dans les véhicules utilitaires, les navires, les avions et les groupes électrogènes en raison de leur meilleure efficacité énergétique.

Cependant, les moteurs Diesel sont souvent critiqués pour leurs émissions polluantes, en particulier de particules fines et d'oxydes d'azote. Des efforts sont en cours pour réduire les émissions de ces moteurs, par exemple par l'utilisation de filtres à particules et de systèmes de traitement des gaz d'échappement.

#### **I.5. Les moteurs Wankel**

Le moteur Wankel, inventé par l'ingénieur allemand Felix Wankel dans les années 1950, est un type de moteur à combustion interne utilisant un piston rotatif. Contrairement aux moteurs à piston classiques, le moteur Wankel utilise un rotor triangulaire excentré qui tourne à l'intérieur d'une chambre ovale. La rotation du rotor génère une combustion répétée à l'intérieur de la chambre, produisant de l'énergie mécanique qui peut être transmise à un arbre de transmission.

Le moteur Wankel est réputé pour sa compacité, son fonctionnement silencieux et sa puissance relativement élevée par rapport à sa taille. Il est également capable de fonctionner à

des régimes élevés, ce qui le rend populaire dans les voitures de sport. Cependant, le moteur Wankel a tendance à avoir une consommation de carburant plus élevée que les moteurs à piston conventionnels, en partie en raison de la forme de la chambre de combustion, qui peut entraîner des pertes de compression et une usure des joints d'étanchéité.

Le moteur Wankel a été utilisé dans diverses applications, notamment dans les voitures, les motos, les avions légers, les bateaux et les groupes électrogènes. Cependant, sa popularité a diminué ces dernières années en raison de problèmes d'efficacité énergétique et d'émissions de gaz d'échappement. Certains fabricants automobiles ont abandonné le moteur Wankel au profit de solutions plus efficaces, telles que les moteurs hybrides et les moteurs électriques (Fig. I.5).

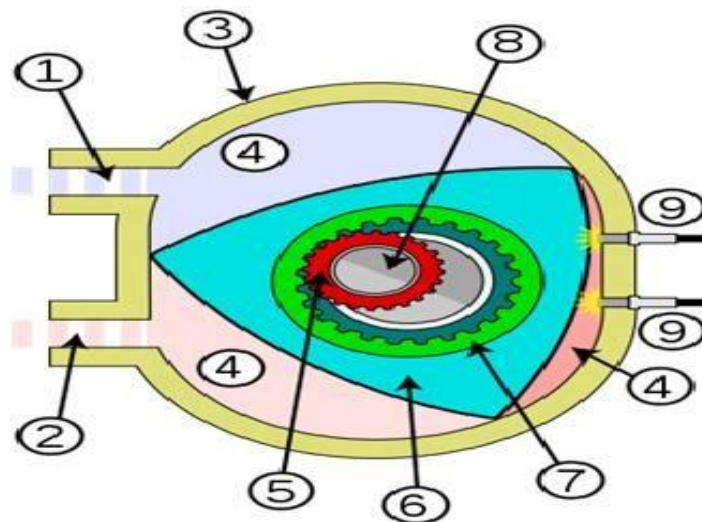


Fig. I.5 Moteur Wankel

Selon la figure I.5, le moteur Wankel est constitué principalement de : 1 : Conduit d'admission, 2 : Conduit d'échappement, 3 : Trochoïde (stator), 4 : Chambres, 5 : Pignon, 6 : Piston (rotor), 7 : Couronne, 8 : Excentricité du vilebrequin, 9 : Bougie d'allumage

### I.5.1. Principe de fonctionnement

Le moteur à piston rotatif, également connu sous le nom de moteur Wankel, utilise un rotor en forme de triangle qui tourne à l'intérieur d'une chambre d'expansion ovale. Le rotor est monté sur un arbre excentré, ce qui génère un mouvement de rotation lorsqu'il tourne. La chambre d'expansion est divisée en trois sections distinctes par des "plats" qui créent des zones d'admission, de compression et d'échappement.

Lorsque le rotor tourne, il passe devant les ouvertures d'admission, permettant à l'air et au carburant d'entrer dans la chambre d'expansion. Ensuite, le rotor se déplace vers la section de compression de la chambre, où l'air et le carburant sont comprimés. Une fois comprimé, le mélange air-carburant est enflammé par une bougie d'allumage, provoquant une explosion qui pousse le rotor vers la zone d'échappement. Les gaz d'échappement sont alors expulsés de la chambre.

Le rotor continue à tourner et répète le processus d'admission, de compression, de combustion et d'échappement à chaque rotation. Le mouvement rotatif du rotor est ensuite transféré à un arbre de sortie, qui peut être utilisé pour produire de l'énergie mécanique. Le moteur à piston rotatif est apprécié pour sa conception simple, son faible poids et sa capacité à fournir une puissance élevée par rapport à sa taille (Fig. I.6).

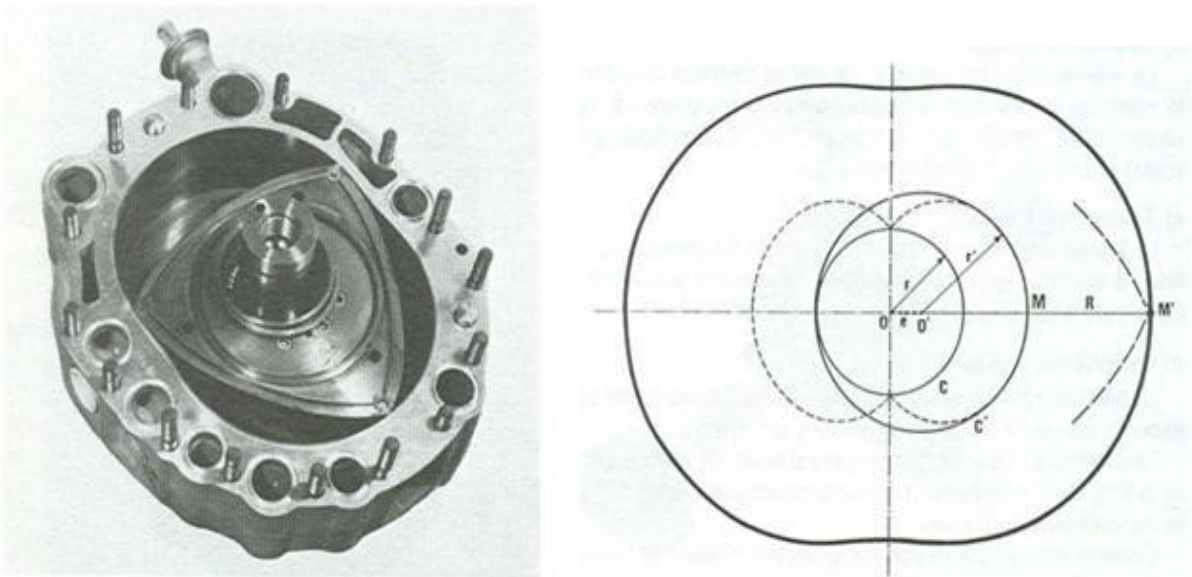


Fig. I.6 Principe du moteur Wankel

### I.5.2. Cycle du moteur Wankel

Le moteur à piston rotatif Wankel est un véritable moteur à 4 temps, réalisant comme n'importe quel moteur à pistons classiques les 4 temps : aspiration, compression, explosion détente, échappement (Fig. I.7).

Une différence essentielle avec le moteur à pistons classiques réside dans le fait que ce moteur réalise toujours trois temps simultanément.

- **Premier temps** : Lorsque la première chambre du moteur s'agrandit, elle aspire le mélange essence/air.
- **Deuxième temps** : La même chambre pousse, par la rotation du rotor, le mélange aspiré vers la chambre de combustion. Là, la chambre se rétrécit (par le mouvement excentrique du rotor) et comprime ainsi le mélange.
- **Troisième temps** : La bougie allume le mélange comprimé ; l'explosion continue à pousser le rotor dans son mouvement circulaire. Ceci constitue le véritable temps moteur.
- **Quatrième temps** : Le bord du rotor découvre la lumière d'échappement et expulse les gaz brûlés comme dans un 2 temps.

La dimension de la chambre est variable, de même que la cylindrée d'un moteur à pistons classiques varie avec le mouvement du piston. Comme le plus grand volume possible indique la cylindrée nominale du moteur classique, le volume nominal de la chambre correspond au plus grand volume possible de la chambre d'explosion du moteur rotatif.

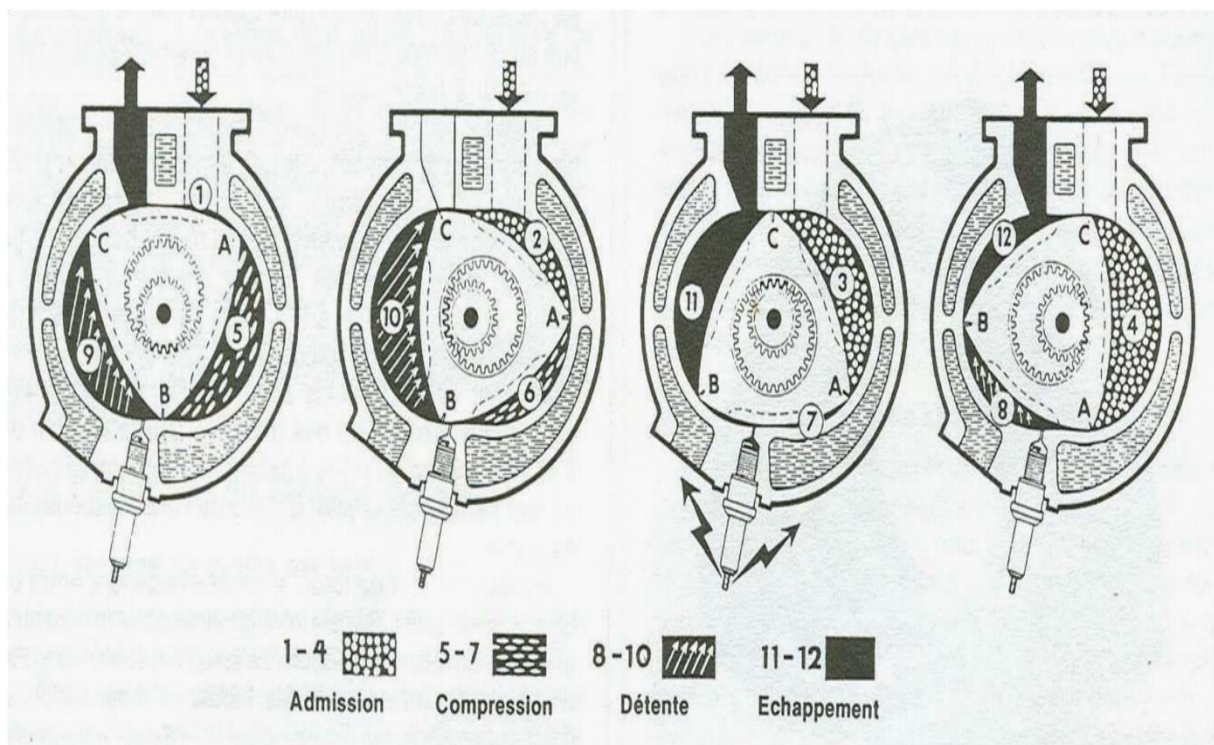


Fig. I.7 Cycle du moteur Wankel

### I.5.3. Caractéristiques des moteurs Wankel

Le moteur Wankel est légèrement différent des autres moteurs thermiques.

### **I.5.3.1. Admission**

Il existe deux configurations d'admission pour le moteur Wankel : l'admission périphérique et l'admission latérale. Dans l'admission périphérique, les ouvertures d'admission sont contrôlées par les segments d'arête, offrant ainsi une faible résistance à l'écoulement des gaz. Ce type d'admission permet à l'écoulement des gaz de ne pas s'opposer à la rotation du rotor. En revanche, dans l'admission latérale, l'ouverture des ouvertures d'admission est contrôlée par le mouvement du piston. Ce type d'admission présente des contraintes liées aux dimensions du piston, à la position des segments latéraux, à la direction de l'écoulement des gaz, etc. Cependant, il permet un temps et une surface d'ouverture plus importants.

### **I.5.3.2. Allumage**

Dans un moteur Wankel, les bougies d'allumage ont tendance à s'encrasser lors d'une utilisation à faible charge du moteur. Contrairement à un moteur à quatre temps, où la course de balayage nettoie la bougie, le moteur Wankel, similairement à un moteur deux temps, ne dispose pas de temps dédié au "nettoyage". Généralement, deux bougies sont utilisées par rotor pour assurer une combustion rapide du mélange air-carburant. La configuration à deux bougies permet d'améliorer la combustion et la propagation de la flamme dans la chambre de combustion, qui est très aplatie. Une meilleure combustion réduit les émissions de polluants, notamment les hydrocarbures.

### **I.5.3.3. Lubrification**

Comme les moteurs à allumage commandé traditionnels, le moteur Wankel stocke l'huile dans un carter situé sous le moteur. Une pompe, entraînée par le moteur, aspire l'huile du carter et la refoule dans l'arbre moteur, où elle lubrifie les paliers, les excentriques, les pistons à couronne dentée et les pignons fixes. Les segments latéraux et les segments d'arête du rotor sont lubrifiés de manière spécifique. Un doseur injecte de l'huile dans l'admission, avant l'arrivée des gaz frais, selon une quantité déterminée en fonction du régime moteur et de l'ouverture des papillons du carburateur. Pour éviter toute insuffisance de lubrification, une petite quantité d'huile est mélangée à l'essence, à une proportion inférieure à 1%. Cela a un impact sur les gaz brûlés et la pollution.

#### **I.5.3.4. Refroidissement**

La température de la surface intérieure de la trochoïde est cruciale, car elle influe sur la formation d'une fine couche d'huile nécessaire à la lubrification et sur le bon fonctionnement des segments d'arête. Étant donné que la surface en contact avec les gaz brûlés est plus importante dans le moteur Wankel que dans un moteur à quatre temps classiques, il est essentiel de prévoir un système de refroidissement spécifique pour la trochoïde et le piston.

La trochoïde et les flasques sont ainsi percés de part et d'autre pour permettre la circulation des fluides (eau ou air en général). La circonférence de la trochoïde est également percée, tandis que les flasques sont creusés. [3]

#### **I.5.4. Avantages et inconvénients du moteur Wankel**

##### **I.5.4.1. Avantages**

Moins d'encombrement (pas de bielle, pas de soupape, ...),

- Régularité de fonctionnement et grande souplesse d'utilisation, □ Transformation du mouvement plus satisfaisante sur le plan mécanique.
- Faible encombrement à cylindrée égale à un moteur conventionnel.
- La plage d'utilisation commence dès les premiers tours et s'étend jusqu'à la rupture.
- Moins de pièces est égale à moins de poids
- Du fait qu'il ne transforme pas de mouvement linéaire en rotation, il déplace moins de pièces, donc moins d'inertie, ce qui lui permet d'atteindre des régimes très élevés. (En théorie max. 18000 tr/min)
- Moins de pièces permet de faire des montées en régimes très

##### **I.5.4.2. Inconvénients**

La conception des segments d'arête pose des problèmes difficiles à résoudre,

- L'évacuation des calories en excédent est plus difficile à réaliser et nécessite un dispositif de refroidissement par eau très efficace.
- Les formes des pièces en mouvement (rotor, stator, ...) sont compliquées, difficulté d'usinage, donc prix élevé.
- Consommation en essence excessive.
- Frein moteur pratiquement inexistant.

# **Chapitre II**

## **Bilan**

### **énergétique et**

### **dimension du**

### **moteur *Wankel***

## II.1 Dimensionnement du moteur WANKEL

La conception d'un moteur à combustion interne de type Wankel est différentes sur celles des moteurs à piston alternatif, ce mode de piston influent sur la géométrie de ce moteur, elle est totalement différente

### II.1.1 Volume de la chambre

Dans le moteur rotatif Wankel, le volume de la chambre  $V_K$  est équivalent au produit de la surface du rotor  $A_K$  et la trajectoire du rotor  $S$ . La surface du rotor  $A_K$  est donnée par la trajectoire des pointes du rotor à travers le carter du rotor et déterminée par le rayon de génération  $R$ , la largeur du rotor  $B$ , et les transferts parallèles du rotor et du carter intérieur  $\alpha$ . Étant donné que le rotor a une forme trochoïde ("triangulaire"), le sinus 60 degrés décrit l'intervalle auquel les rotors se rapprochent le plus du boîtier du rotor. Donc [2]

$$A_k = 2B(R + \alpha) \sin(60) = \sqrt{3}B(R + \alpha) \quad (\text{II.1})$$

La trajectoire du rotor  $S$  peut être intégré via l'excentricité  $e$  comme suit [1]:

$$\sum ds = \int_0^{270} e \cdot \sin \frac{2}{3} \alpha d\alpha = 3e \quad (\text{II.2})$$

Donc,

$$V_k = A_k \cdot s = \sqrt{3} \cdot B \cdot (R + \alpha) \cdot 3e \quad (\text{II.3})$$

Pour plus de commodité,  $\alpha$  peut-être omis, car il est difficile à déterminer [3 – 7] on peut alors écrire :

$$V_k = \sqrt{3} \cdot B \cdot R \cdot 3e \quad (\text{II.4})$$

Une approche différente consiste à introduire  $\alpha'$  comme le plus éloigné, et  $\alpha$  comme le transfert parallèle le plus court du rotor et du logement intérieur et en supposant que

$$R_1 = R + \alpha \quad (\text{II.5})$$

Et

$$R_2 = R + \alpha'. \text{ Alors, } V_k = \sqrt{3} \cdot B \cdot (2 \cdot R_1 + R_2) \cdot e \quad (\text{II.6})$$

L'inclusion des transferts parallèles du rotor et du boîtier intérieur offre une précision suffisante pour déterminer le volume de la chambre. [3] [1].

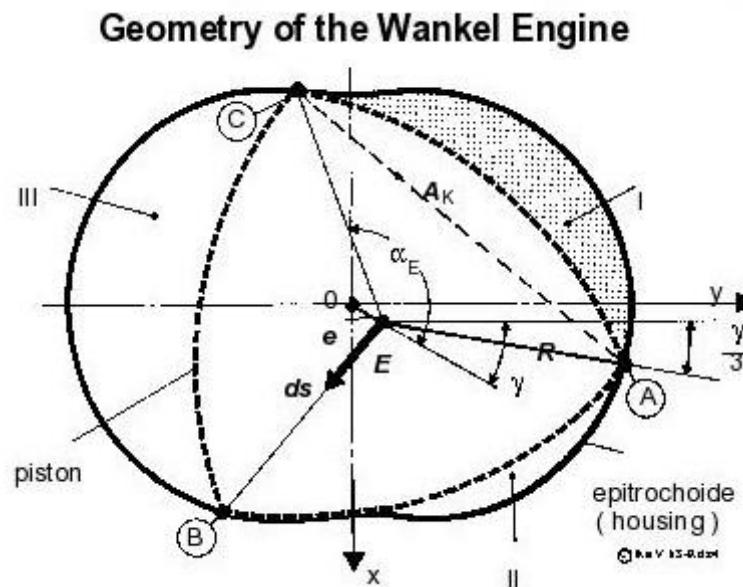


Fig. II.1 Dimensionnement du moteur WANKEL

### II.1.2 Déplacement

Dans un moteur rotatif Wankel, l'arbre excentrique doit effectuer trois rotations complètes ( $1080^\circ$ ) par chambre de combustion afin de compléter les quatre cycles d'un moteur à quatre temps. Puisqu'un moteur rotatif Wankel a trois chambres de combustion, les quatre cycles d'un moteur à quatre temps sont effectués en une rotation complète de l'arbre excentrique ( $360^\circ$ ) [1] [8]. Ceci est différent d'un moteur à piston à quatre temps, qui doit faire deux rotations complètes par chambre de combustion afin de compléter les quatre cycles d'un moteur à quatre temps. Par conséquent, dans un moteur rotatif Wankel, le volume de la chambre doit être doublé pour obtenir la cylindrée  $V_h$  :

$$V_h = 2 \cdot V_k \cdot i \quad (\text{II.7})$$

Avec  $i$  étant le nombre de rotors par moteur. La cylindrée du moteur rotatif Wankel  $V_h$  équivaut à la cylindrée d'un moteur quatre temps à piston  $V_h$ . [9] [10]

#### Exemples :

##### **KKM 612 ( NSU Ro80 )**

- $e = 14\text{mm}$

- R=100 mm
- a=2mm
- B=67mm
- je=2

$$V_k = \sqrt{3} \cdot 67\text{mm} \cdot (100 + 2\text{mm}) \cdot 3 \cdot 14\text{mm} \approx 498,000\text{mm}^3 = 498\text{cm}^3$$

$$V_h = 2 \cdot 498\text{cm}^3 \cdot 2 = 1,992\text{cm}^3[11][12]$$

### Mazda 13B-REW ( Mazda RX-7 )

- e=15mm
- R=103 mm
- a=2mm
- B=80mm

$$V_k = \sqrt{3} \cdot 80\text{mm} \cdot (103 + 2\text{mm}) \cdot 3 \cdot 15\text{mm} \approx 654,000\text{mm}^3 = 654\text{cm}^3$$

$$V_h = 2 \cdot 654\text{cm}^3 \cdot 2 = 2,616\text{cm}^3[12]$$

## II.2 Bilan énergétique

### II.2.1 Travail échange d'énergie

Dans un moteur thermique, les gaz échangent du travail et d'énergie avec le milieu extérieur

#### II.2.1.1 Puissance moyenne indiquée ( $P_i$ )

La puissance moyenne indiquée développée par un seul cylindre est donnée par [13] :

$$P_i = \frac{W_i}{\Delta t} \quad \text{avec } \Delta t = \frac{60n_R}{N}, \quad P_i = \frac{W_i N}{60n_R} = \frac{pmi \cdot V_{cyl} N}{60n_R} \quad (\text{II.8})$$

$$pmi = \frac{60 P_i n_R}{V_{cyl} N} \quad (\text{II.9})$$

$$\text{ou } n_R = \begin{cases} 2 & \text{si le moteur est a quatre temps} \\ 1 & \text{si le moteur est a deux temps} \end{cases}$$

Le travail net fourni par cycle :

$$W_i \approx 0.1 P_{mi} V_h \quad (\text{II.10})$$

La puissance moyenne indiquée développée par le moteur est donc :

$$P_i = \frac{p_{mi} V_{cyl} N}{60 n_R} Z \quad (\text{II.11})$$

### II.2.1.2 Puissance effective ( $P_e$ )

La puissance développée durant le cycle est dite indiquée. Cependant, cette puissance ne se transmet pas intégralement au vilebrequin à cause des irréversibilités. En effet, à cause des pertes de chaleur par transfert thermique à travers les parois et les différentes mécaniques par frottements. Le travail effectif développé au niveau de l'arbre moteur est inférieur au travail indiqué produit durant le cycle moteur. D'une manière similaire, la puissance moyenne effective est relative à la pression moyenne effective. Celle-ci est la pression qui produit le travail effectif (utile) au niveau de l'arbre moteur.

$$W_e = p_{me} \cdot V_{cyl} \quad (\text{II.12})$$

$$P_e = \frac{W_e}{\Delta t}$$

$$\text{ainsi} \quad (\text{II.13})$$

$$P_e \frac{W_e}{60 n_R} = \frac{p_{me} V_{cyl} N}{60 n_R} \quad (\text{II.14})$$

La puissance effective du moteur est :

$$P_e = \frac{p_{me} V_{cyl} N}{60 n} Z \quad (\text{II.15})$$

La puissance effective du moteur peut être mesurée sur banc d'essai moteur à partir du produit algébrique du couple fois la vitesse angulaire mesurés au niveau de l'arbre du moteur.

$$P_e = C \cdot \omega = C \frac{2\pi N}{60} \quad (\text{II.16})$$

La puissance effective est toujours inférieure à la puissance indiquée et on peut noter

$$P_i = P_e + P_{pertes\ mecaniques} \quad (\text{II.17})$$

$P_{p.mec}$  Est la puissance dissipée par pertes mécaniques dues aux frottements entre les éléments du moteur, la puissance dépensée pour l'entraînement des organes auxiliaires.

Le rapport entre la puissance effective et la puissance indiquée est le rendement mécanique.

$$mec = \frac{P_e}{P_i} \quad (\text{II. 18})$$

on peut écrire

$$mec = \frac{P_i - P_{mec}}{P_i} \quad (\text{II.19})$$

Les pertes mécaniques sont généralement comprises entre 5 et 20 %. Le rendement mécanique  $mec$  est de l'ordre de 80 à 95 %.

### II.2.1.3 Consommation spécifique indiquée ( $b_i$ ) :

Pour faire fonctionner le moteur on a besoin d'une quantité de carburant  $m_f$ . Si on divise  $m_f$  par le temps on obtient le débit de carburant  $B$  en (kg/h ou en g/s). La consommation spécifique indiquée  $b_i$  est la quantité de carburant nécessaire au moteur pour développer une puissance de 1 KWh (i.e. une puissance de 1 KW durant 1 heure). [13]

$$i = \frac{3600}{P_i} \quad (\text{II.20})$$

Si  $B$  est le débit de carburant en gr/s et  $P_i$  est puissance indiquée en KW alors  $b_i$  est estimée en g/KWh. Pour le moteur diesel  $b_i$  varie entre 170 et 200 g/KWh.

### II.2.1.4 Consommation spécifique effective ( $b_e$ ) :

Obtenu par analogie à la consommation spécifique indiquée. La consommation effective est doit être supérieure à celle indiquée à cause des pertes. Ainsi, pour obtenir 1 KW au niveau de l'arbre moteur on doit brûler plus de carburant. La quantité excédentaire correspond au travail et puissance perdues par frottements et par transfert de chaleur.

$$e = \frac{3600}{P_e} \quad (\text{II.21})$$

Si  $B$  est le débit de carburant en gr/s et  $P_e$  est puissance effective en KW alors  $b_e$  est estimée en g/KWh. Pour le moteur diesel  $b_e$  varie entre 190 et 230 g/KWh.

## II.2.2 Les diagramme (PV) (TS)

### II.2.2.1 Diagramme PV

Le diagramme PV pour un moteur Wankel est similaire à celui d'un moteur à piston. Le diagramme montre la relation entre la pression et le volume dans le moteur au cours d'un cycle de fonctionnement. Le cycle comprend les quatre phases principales : l'admission, la compression, la combustion et l'échappement (Fig. II.2).

- Lors de la phase d'admission, le rotor tourne pour créer une chambre de combustion. La soupape d'admission s'ouvre et le mélange air-carburant entre dans la chambre de combustion. La pression et le volume augmentent jusqu'à ce que la soupape d'admission se ferme.

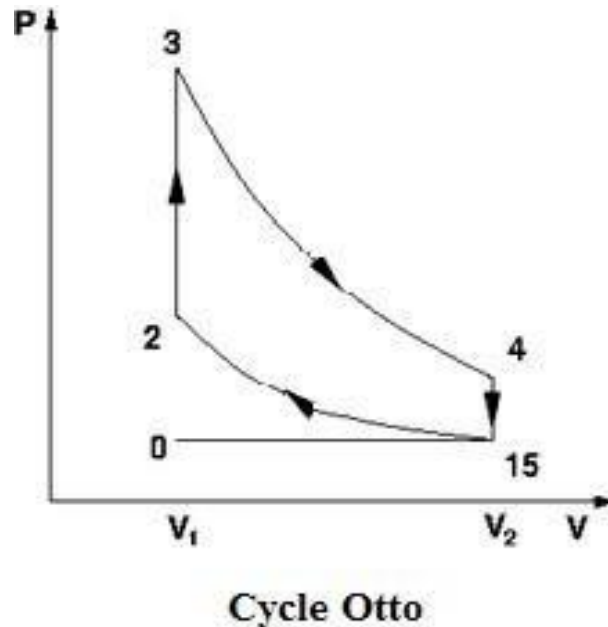


Fig. II.2 diagrammes PV

- Dans la phase de compression, la chambre se rétrécit, compressant le mélange air-carburant. La pression continue d'augmenter jusqu'à ce qu'il y ait une étincelle d'allumage, qui provoque la combustion.
- Dans la phase de combustion, le mélange air-carburant brûle et la pression continue d'augmenter. Le rotor tourne, ce qui pousse les gaz d'échappement dans la chambre d'échappement.
- Enfin, dans la phase d'échappement, la soupape d'échappement s'ouvre et les gaz d'échappement sont évacués de la chambre de combustion. Le rotor tourne pour créer une nouvelle chambre de combustion, et le cycle recommence.

Le diagramme PV pour un moteur Wankel est similaire à celui d'un moteur à piston, mais il présente des différences en termes de forme et de caractéristiques de pression. Le diagramme PV peut être utilisé pour optimiser le fonctionnement du moteur et améliorer son efficacité énergétique.

### II.2.2.2 Diagramme TS

Le diagramme TS (temps-spécifique) (Fig. II.3) est un outil utilisé pour représenter graphiquement les processus thermodynamiques dans les moteurs à combustion. Pour comprendre comment cela fonctionne dans un moteur Wankel, il est important de comprendre le fonctionnement de base de ce type de moteur.

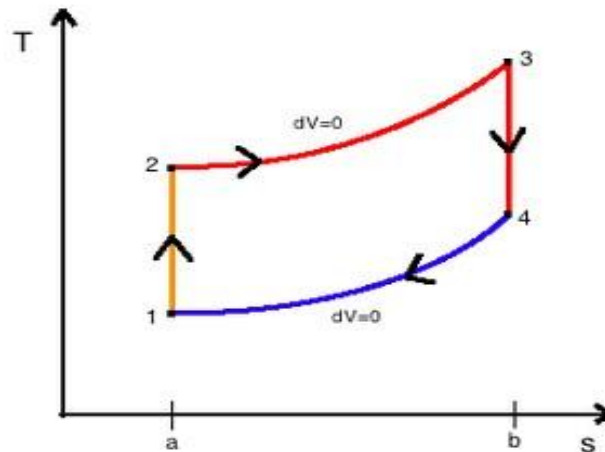


Fig. II.3 Diagramme TS

Dans un moteur Wankel, le mouvement rotatif est converti en mouvement linéaire, ce qui permet de fournir une puissance de sortie. Le moteur Wankel utilise un rotor triangulaire qui tourne à l'intérieur d'un boîtier ovale. Le rotor est muni de trois faces d'étanchéité qui glissent le long du boîtier ovale, créant trois chambres de combustion distinctes.

Le cycle de combustion dans un moteur Wankel est similaire à celui d'un moteur à quatre temps, mais les processus sont répartis sur les trois chambres de combustion. Le diagramme TS est utilisé pour représenter les processus qui se produisent dans chaque chambre de combustion.

Le diagramme TS d'un moteur Wankel montre le volume de chaque chambre de combustion par rapport à la pression pendant le cycle de combustion. Pendant le premier temps, le volume de la chambre de combustion augmente à mesure que le rotor tourne, créant une pression plus faible. Ensuite, le mélange air-carburant est comprimé et la pression augmente. L'étincelle de la bougie d'allumage enflamme le mélange air-carburant, provoquant une forte augmentation de la pression et de la température.

Pendant le troisième temps, le rotor continue de tourner, expulsant les gaz d'échappement de la chambre de combustion. Pendant le quatrième temps, le rotor aspire un

nouveau mélange air/carburant dans la chambre de combustion, ramenant le moteur à son état initial.

En représentant ces processus sur un diagramme TS, il est possible de comprendre comment les processus de combustion se déroulent dans chaque chambre de combustion. Cela permet aux ingénieurs de concevoir des moteurs plus efficaces et plus performants.

### **II.2.3 cycles real**

Le cycle réel du moteur Wankel est le suivant :

1. Admission : Le rotor tourne à l'intérieur du stator, créant ainsi un volume de combustion dans lequel le mélange air/carburant est aspiré.
2. Compression : Le rotor se déplace vers le centre, comprimant le mélange air/carburant.
3. Combustion : À ce stade, la bougie d'allumage allume le mélange comprimé, provoquant une explosion et poussant le rotor vers l'extérieur.
4. Échappement : Le rotor tourne vers la sortie, expulsant les gaz brûlés du moteur.

Le moteur Wankel ne possède pas de soupapes, de sorte que l'admission et l'échappement se produisent en même temps dans des zones distinctes du stator. De plus, le moteur Wankel ne possède qu'un seul piston rotatif, qui se déplace en ligne droite plutôt que de monter et descendre comme les pistons d'un moteur à pistons. Cela permet au moteur Wankel d'avoir un fonctionnement plus doux et plus silencieux que les moteurs à piston traditionnels.

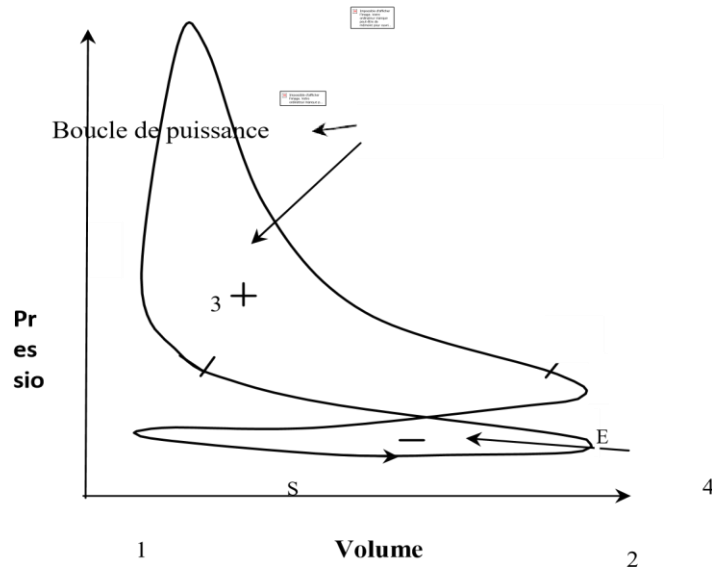


Fig. II.5 Diagramme (PV) du cycle réel d'un moteur Wankel

## II.2.4. Rendements

### II.2.4.1 Rendement mécanique

Un certain nombre de pertes ont lieu entre le travail indiqué et le travail effectivement utilisable sur l'arbre moteur [13] :

- D'une part les frottements internes (piston/cylindre, attelage mobile...)
- D'autre part l'énergie nécessaire à l'entraînement de la pompe à huile, à eau, de l'arbre à cames...

Le rapport entre le travail effectif et le travail indiqué est le rendement mécanique (ou rendement organique)

$$\eta_m = \frac{W_{\text{effectif}}}{W_{\text{indiqué}}} \quad (\text{II.22})$$

### II.2.4.2 rendement indiqué ( $\eta_i$ )

C'est le rapport du travail indiqué fourni sur la quantité de chaleur dégagée par combustion pour réaliser ce travail. Pour une durée de travail égale à une heure on peut calculer le rendement indiqué par la relation suivante [13]:

$$i = \frac{W_i}{PCI \cdot m_f} \quad (\text{II.23})$$

Où  $m_f$  est la quantité de carburant en Kg,  $W_i$  est le travail indiqué en KJ, PCI est le pouvoir calorifique du carburant (KJ/kg). Mais d'une manière plus pratique il nous est plus aisé de

calculer le rendement indiqué à partir du débit de carburant et de la puissance indiquée à partir de la relation :

$$i = \frac{P_i}{PCI.B} \quad (\text{II.24})$$

$B$  est le débit de carburant en Kg/h,  $P_i$  est la puissance indiquée en KW et  $PCI$  est le pouvoir calorifique du carburant (KJ/kg). Le rendement indiqué représente la somme des pertes thermiques à travers les chemises, la tête du piston et la culasse en plus de la chaleur évacuée par les organes d'échappement et les pertes dues à une combustion incomplète et au refroidissement.

Le rendement indiqué du moteur diesel est de l'ordre de 40 à 50 %. [13]

#### II.2.4.3 Rendement effectif ( $\eta_e$ )

Le rendement effectif est aussi appelé rendement global. Il sert surtout à comparer les différents moteurs. Par analogie au rendement indiqué on peut calculer le rendement effectif par la relation [13]

$$e = \frac{W_e}{PCI.m} \quad (\text{II.25})$$

$m_f$  est la quantité de carburant en Kg,  $W_i$  est le travail effectif en KJ,  $PCI$  est le pouvoir calorifique du carburant (KJ/kg). Mais d'une manière plus pratique il nous est plus aisé de calculer le rendement effectif à partir du débit de carburant et de la puissance indiquée à partir de la relation :

$$e = \frac{P_e}{PCI.B} 3600 \quad (\text{II.26})$$

$$e = \frac{P_i}{PCI.B} \cdot 3600 \quad (\text{II.27})$$

# **CHAPITRE III**

## **Modélisation du moteur Wankel par SolidWorks**

### III.1. Introduction

On présente dans ce chapitre la modélisation du moteur Wankel comme il est présenté dans la figure III.1, par le logiciel SolidWorks.

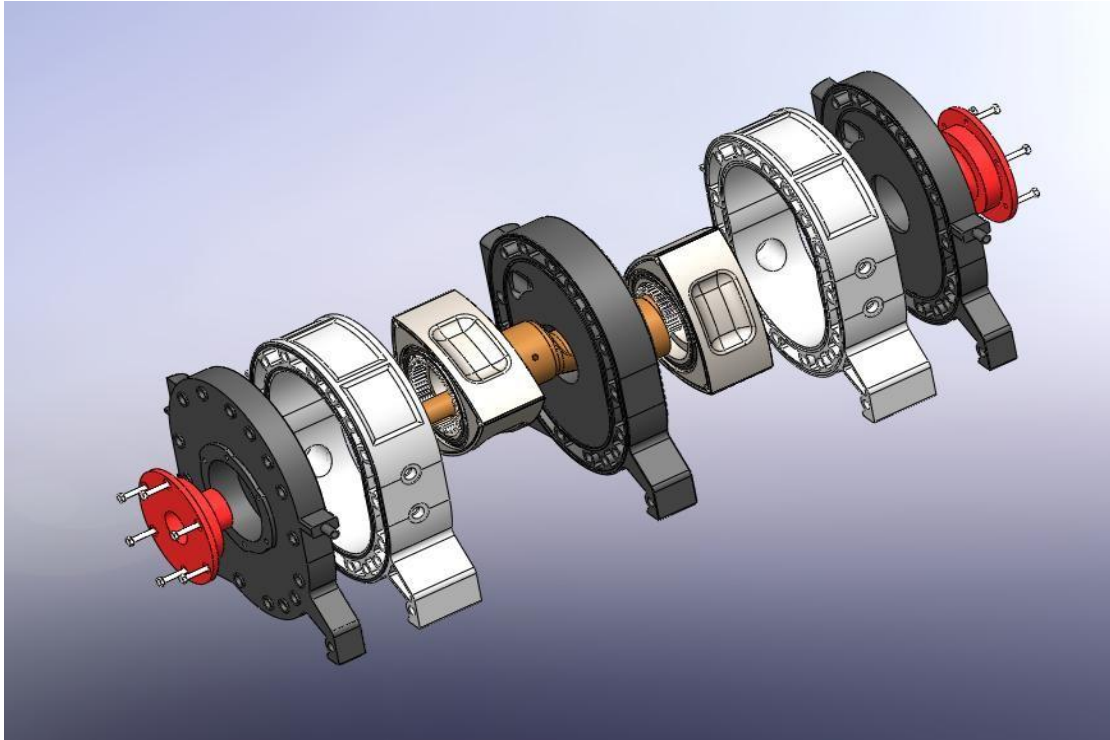


Fig. III.1 Moteur wankel en SolidWorks

Le système du moteur à piston rotatif, se compose de neuf pièces fondamentales : Vilebrequin, deux blocks moteurs, deux pistons, les plaques (plaque avant, plaque arrière, plaque centrale), bougie d'allumage, les trains.

### III.2. Les composants du moteur Wankel

Le moteur Wankel se compose principalement de :

#### III.2.1. Piston

Le piston est le composant principal du moteur Wankel. Il a une forme triangulaire avec un coin arrondi. Le piston tourne à l'intérieur de la chambre du moteur et crée les volumes variables nécessaires pour les différentes phases du cycle de combustion (Fig.

III.2)

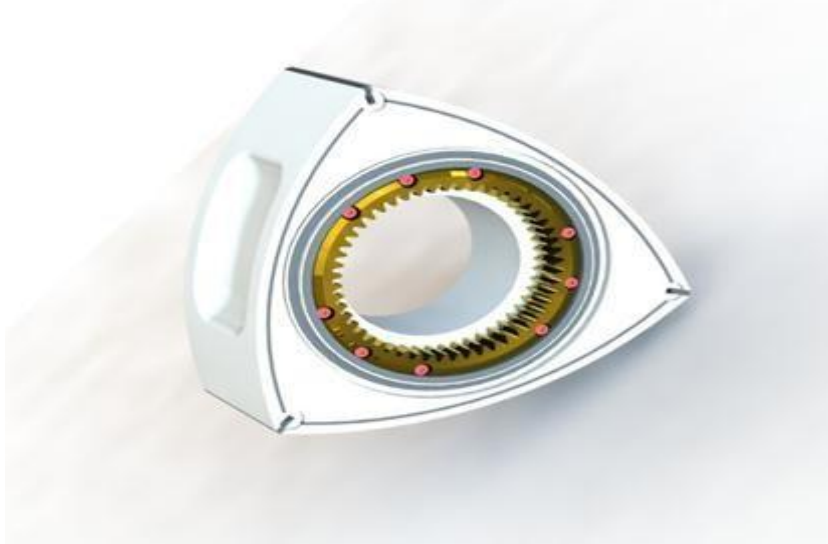


Fig.III.2 piston relative

### III.2.2. Block moteur

Le block est la chambre fixe à l'intérieur de laquelle le piston tourne. Il a une forme elliptique pour permettre au piston de se déplacer en suivant une trajectoire spécifique. Le block contient également les parois internes nécessaires pour assurer l'étanchéité entre les différentes chambres.



Fig. III.3 block moteur

### III.2.3. Vilebrequin

---

Le vilebrequin est connecté au piston et transmet le mouvement rotatif du rotor à l'extérieur du moteur. Il permet également de synchroniser les mouvements du rotor avec d'autres composants tels que l'arbre de sortie.



Fig.III.4 Vilebrequin

#### III.2.4. Les plaques de moteur (plaque avant, plaque centrale, plaque arrière)

Les plaques d'étanchéité sont situées sur les côtés du rotor et glissent le long des parois internes du stator. Elles assurent l'étanchéité entre les chambres d'admission, de compression, de combustion et d'échappement, évitant ainsi les fuites de gaz, il-y-a trios plaque.

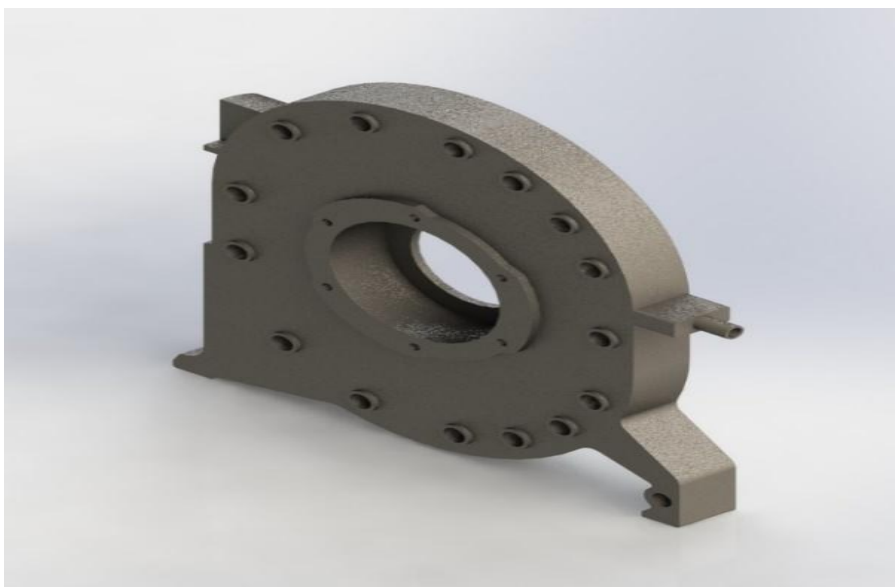


Fig.III.5 plaques avant

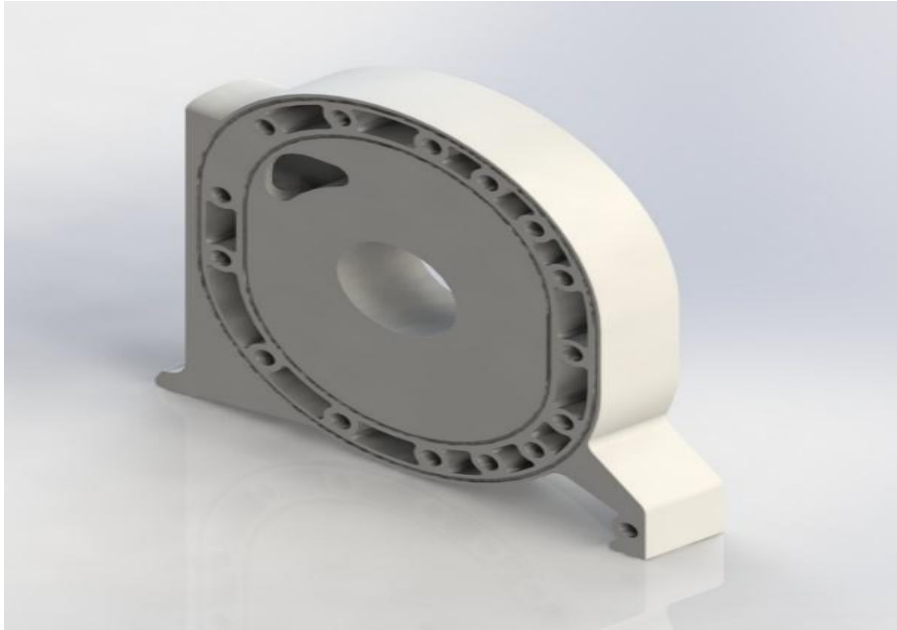


Fig.III.6 plaque centrale

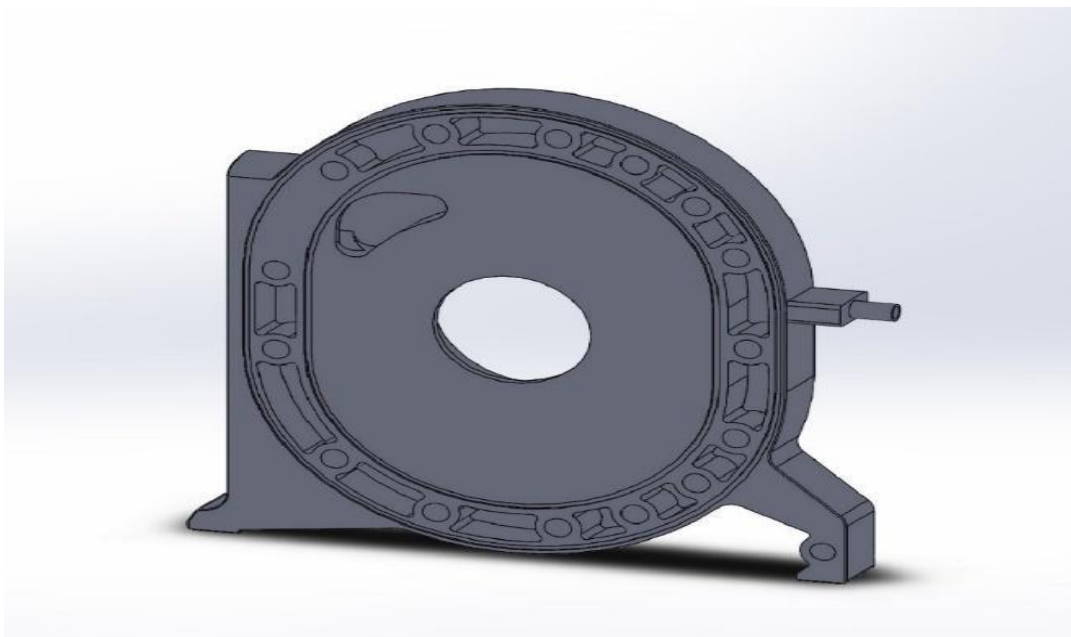


Fig.III.7 plaques arrière

### III.2.5. Les trains (avant, arrière)

Le train de transmission est connecté au rotor et convertit le mouvement rotatif du rotor en mouvement linéaire. Il transmet ensuite cette énergie à d'autres composants, tels que la transmission ou les systèmes d'entraînement.

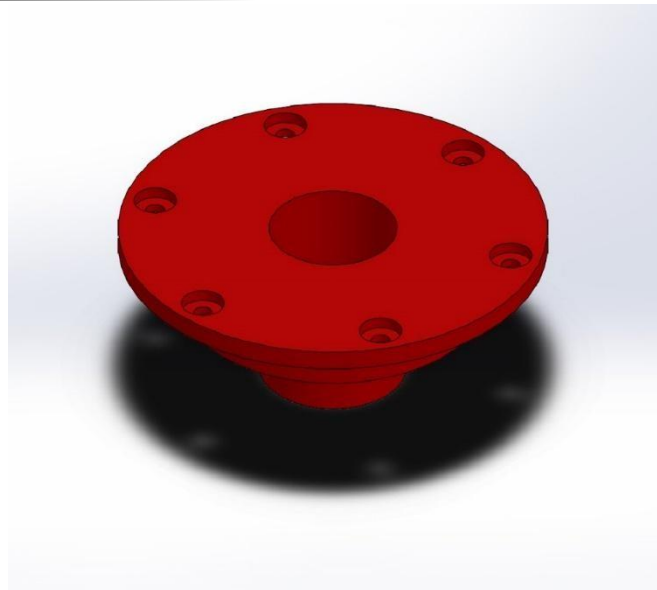


Fig.III.8 train

### III.2.6. Bougies d'allumage

Les bougies d'allumage sont responsables de l'allumage du mélange air-carburant à l'intérieur du moteur Wankel. Elles génèrent une étincelle.

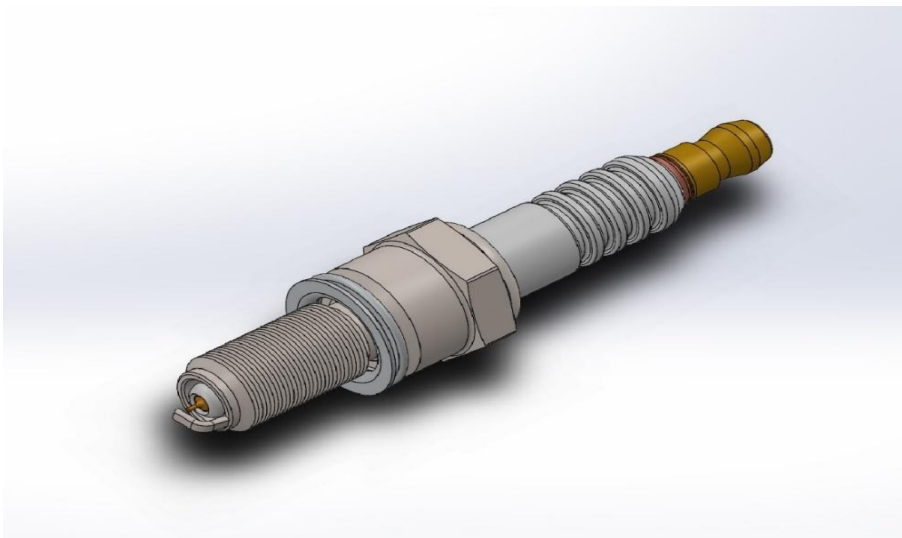


Fig.III.9 bougies d'allumage

## III.3. III.3. Définition de logiciel utilisé

### III.3.1 Le SolidWorks :

SolidWorks est un logiciel propriétaire de conception assistée par ordinateur 3D fonctionnant sous Windows. En utilisant la conception paramétrique. Il génère 3 types de fichiers relatifs à trois concepts de base :

- La création des pièces complexes en 3 dimensions - La mise en plan en 2 D.
- L'assemblage de plusieurs pièces entre elles.

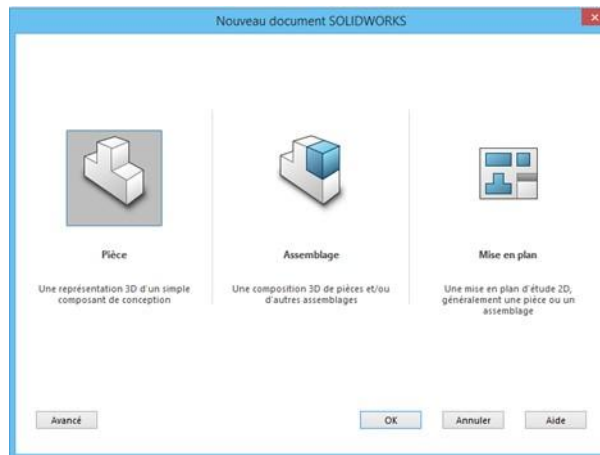


Fig.III.10 Choix du module

Ces fichiers sont en relation. Toute modification à quelque niveau que ce soit est répercutée vers tous les fichiers concernés. On peut spécifier des côtes et rapports géométriques entre les éléments. Un changement de cote entraîne un changement de taille de la pièce, tout en préservant l'intention de conception. Donc, tous changements opérés sur le modèle dans l'un des documents, nécessitent une propagation sur les autres documents contenant ce modèle [2]

### III.4. Modélisation

Nous avons modélisé les différentes pièces qui composent le moteur grâce au logiciel SolidWorks. Nous disposons de la liste des pièces numérotées.

Pour la conception de notre moteur wankel sous SolidWorks, nous avons dû créer une onze de modèles de pièces différents, afin d'assembler finalement 42 pièces. La conception d'une pièce se constitue, tout d'abord, d'une phase où l'on définit l'esquisse, puis d'une phase de mise en relief de cette esquisse.

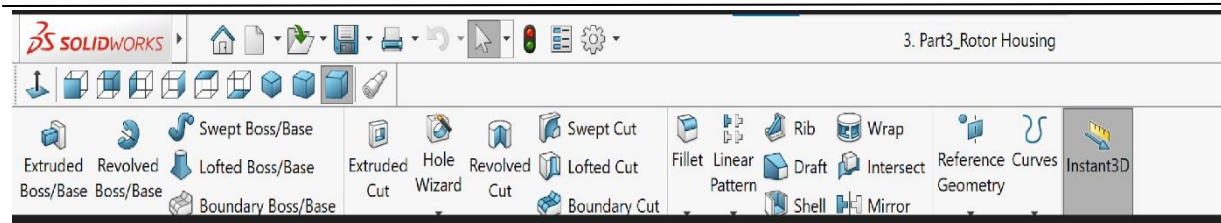


Fig.III.11 Gestionnaire de commandes

III.4.1. Esquisses

Si nous prenons l'exemple de la conception du « block moteur », voici l'esquisse obtenue lors d'une première étape, à l'aide des outils de dessin et de dimensionnement sous SolidWorks :

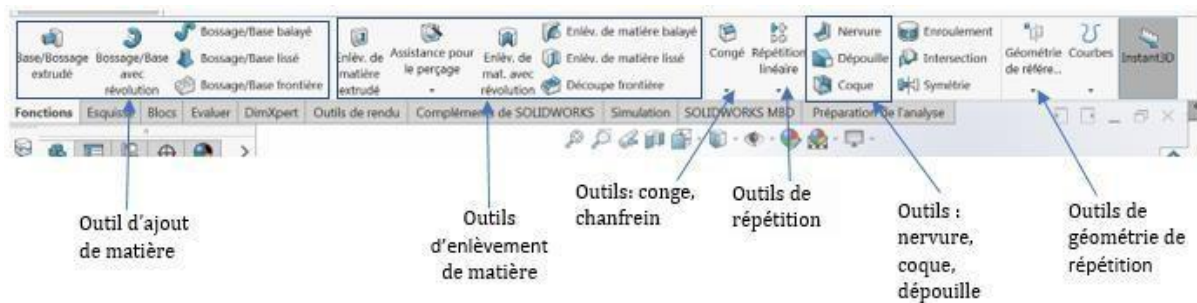


Fig.III.12 la barre d'outils Esquisse

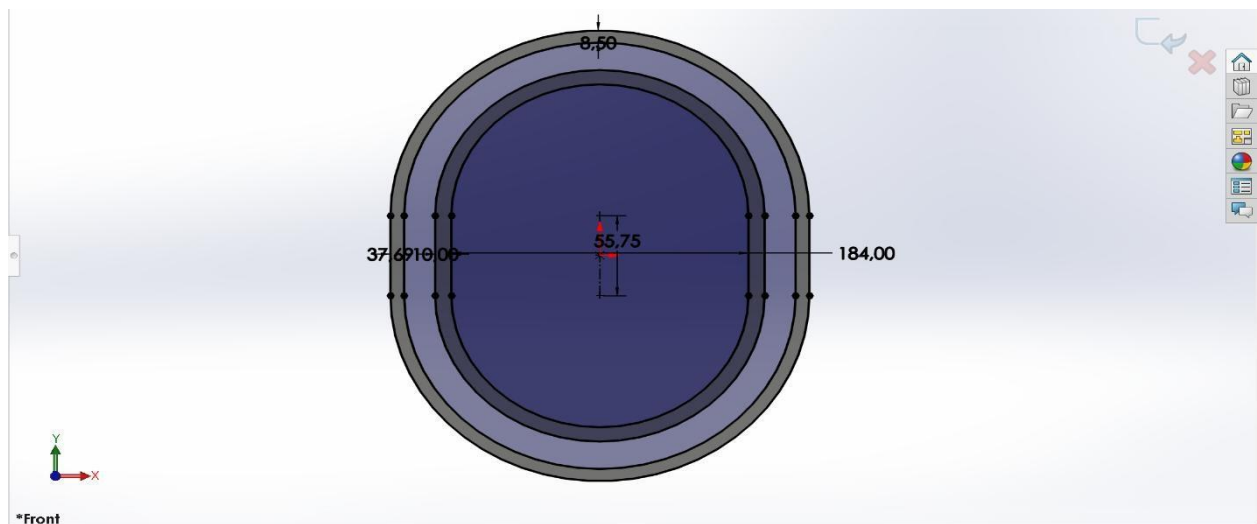


Fig.III.13 Esquisse de block

On remarque que l'esquisse est de couleur noire, cela signifie qu'elle est totalement contrainte. Ses cotes ne seront donc pas modifiées lors des prochaines manipulations.



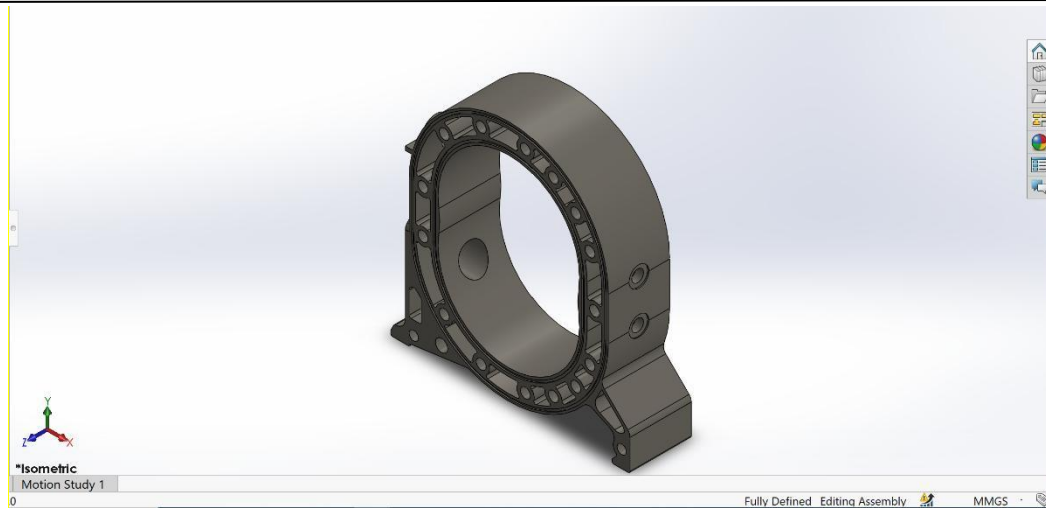


Fig.III.16 pièce finale obtenue

### III.4.3 Réalisation de l'assemblage

Une fois les pièces modélisées, il faut procéder à leur assemblage. Pour cela, nous avons défini un certain nombre de contraintes dans le but de positionner les pièces les unes par rapport aux autres. Parmi les contraintes standards, on trouve :

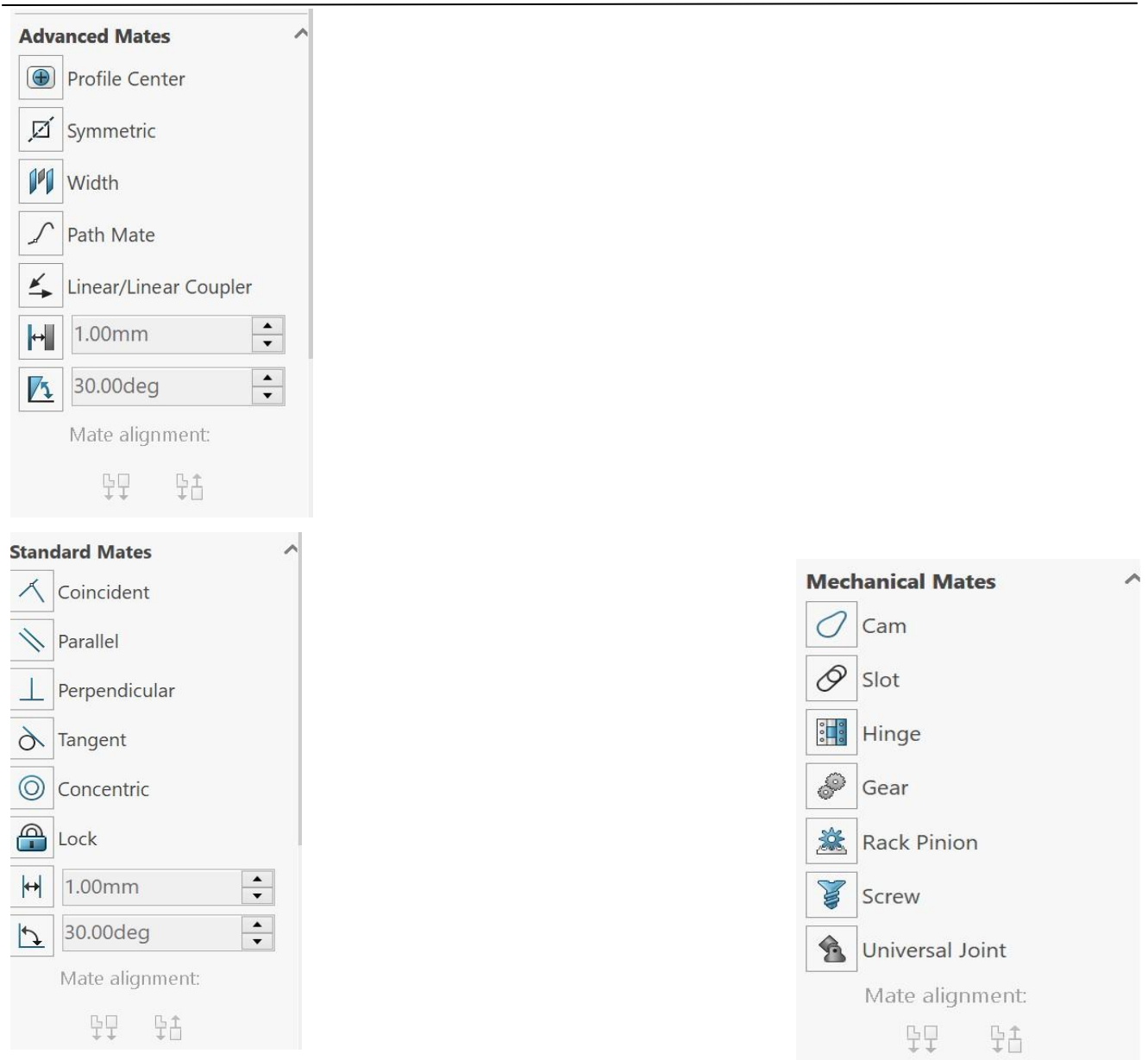


Fig.III.17 Différentes contraintes possibles

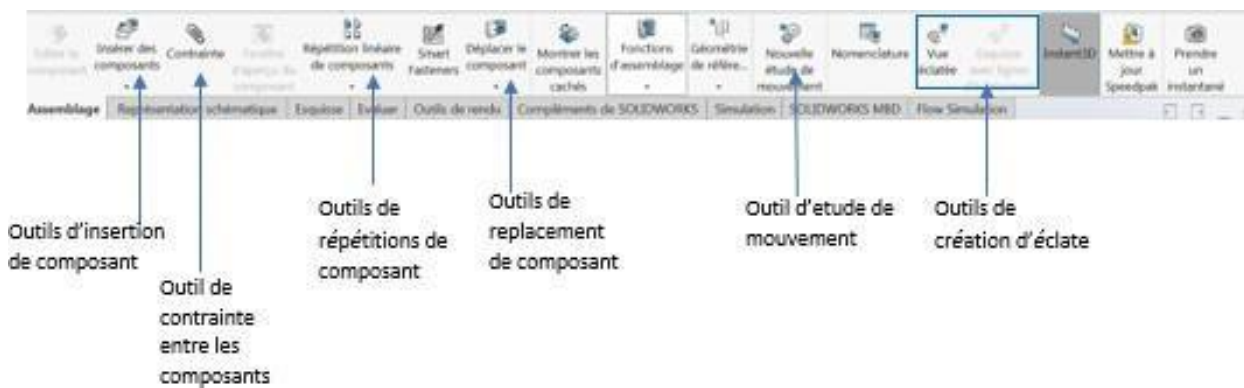
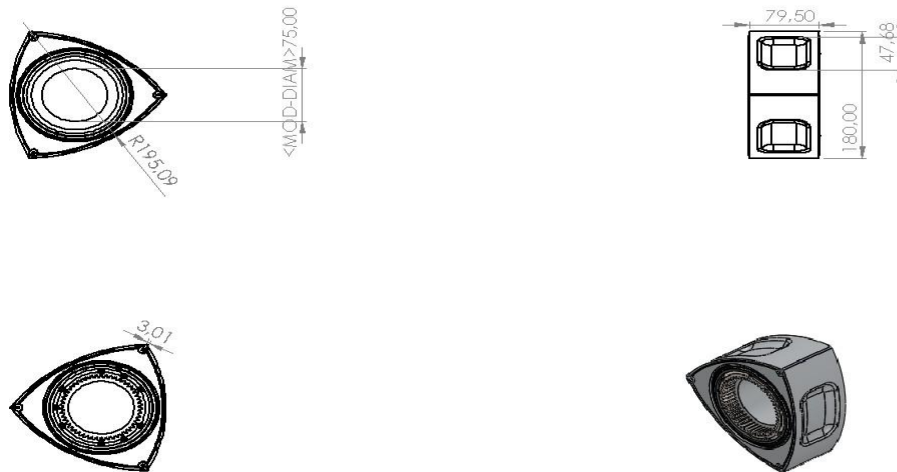


Fig.III.18 la barre d'outils Assemblage

### III.5. Modélisation du moteur

Le processus de modélisation du moteur à piston rotatif sur SolidWorks, se divise en différentes parties et est abordé de plusieurs manières. Notre première étape consiste à travailler sur la conception du piston.

#### III.5.1. Le piston



repère	Quantité	nom	Désination	longueur	poids U (g)
01	02	PISTON	VILBREQUIN		
N affaire	WK:01		date création:	4/05/2023	University Mohamed Boudiaf of M'sila
nom affaire	MOTELR		dessinateur:	benkheil & bessai	
<b>croquis d'usinage</b>					

Fig.III.19 miss en plan de piston

Nous avons utilisé les fonctionnalités qui nécessite la modélisation du piston afin d'obtenir la pièce finale (Fig. III.20) telles que :

- Extruded boos /bas
- Extruded cut
- Revolved cut
- Fillet
- Hole wizard
- Smart fastenes

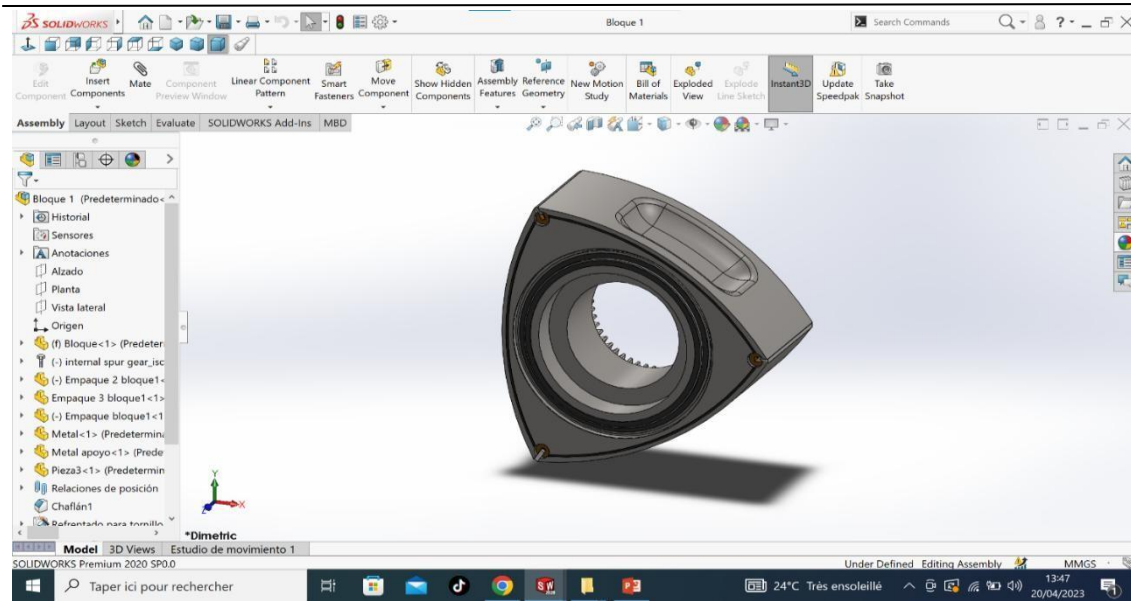
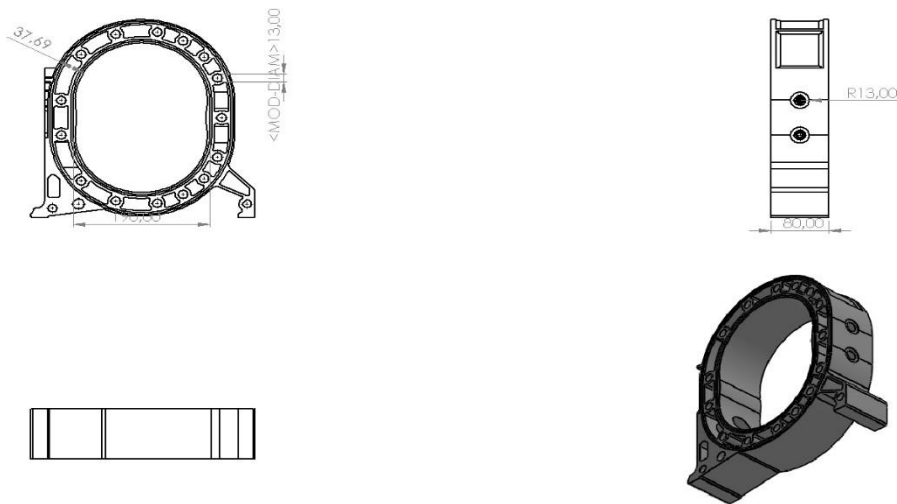


Fig.III.20 Pièce finale Piston

III.5.2 Block moteur



repère	Quantité	nom	Désination	longueur	poids U (g)
01	02	BLOCK			
N affaire	WK:01		date création:	14/05/2023	University Mohamed Boudiaf of M'sila
nom affaire	MOTEUR		dessinateur:	benkheill & bessai	
<b>croquis d'usage</b>					

Fig.III.21 miss en plan de block moteur

On a utilisé les fonctions illustrées ci-dessous pour obtenir la pièce finale (Fig. III. 22)

- Extruded boos /bas

- Extruded cut
- Revolved boss/bas
- Revolved cut
- Fillet

La pièce finale du bloc moteur est réalisée comme il est représenté dans la (Figure. III. 22)

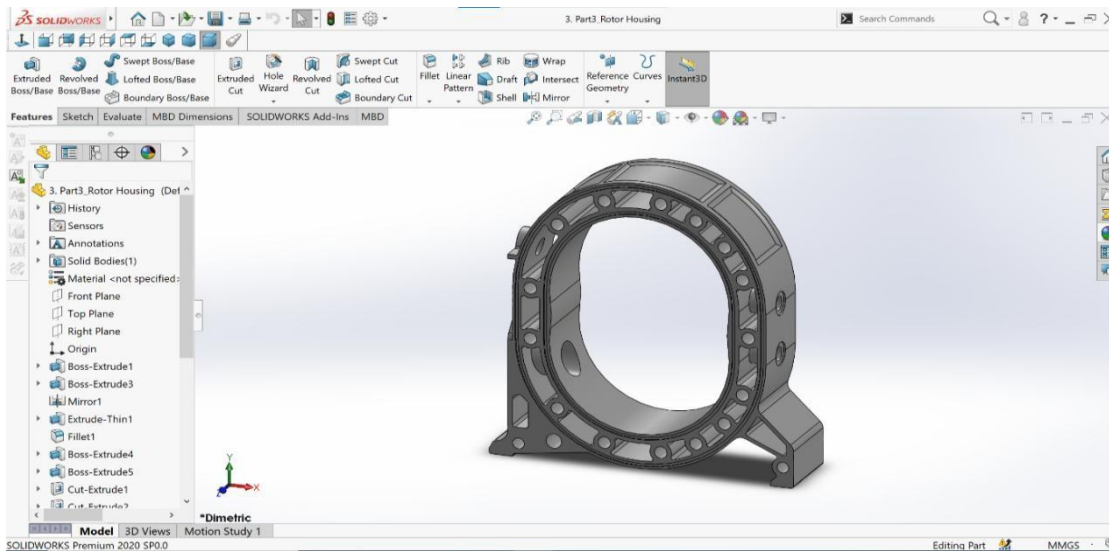


Fig.III.22. Pièce finale

block I.5.3 Vilebrequin



repère	Qté	Nom	désignation	longueur	Qualité	poids (kg)
03	01	vilebrequin	block			
N° Affaire:	wA: 01		date création	14.05.2020	<b>Université mohamed boudiaf msila</b>	
nom affaire:	Moteur		dessinateur	bessai & benkhellil		
<b>CROQUIS DE USINAGE</b>						

Fig.III.23. miss en plan de vilebrequin

On a utilisé les fonctions illustrées ci-dessous pour obtenir la pièce finale (Fig. III. 24)

- Extruded boss /bas
- Extruded cut
- Revolved boss/bas
- Revolved cut
- Fillet

La pièce finale du bloc moteur est réalisée comme il est représenté dans la (Figure. III. 24)

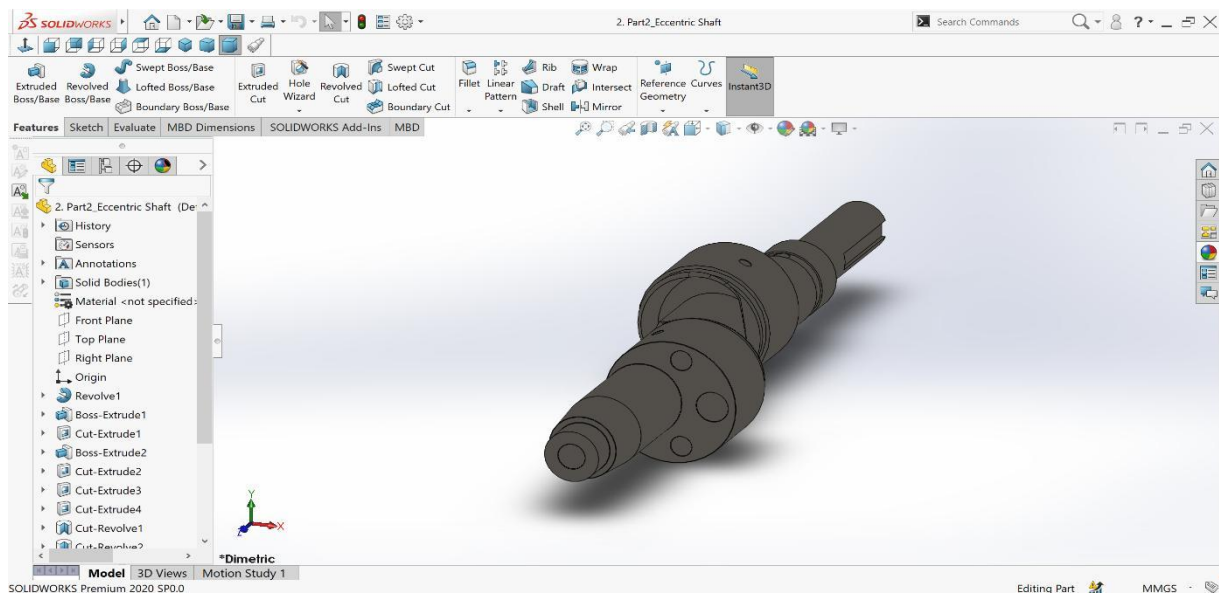
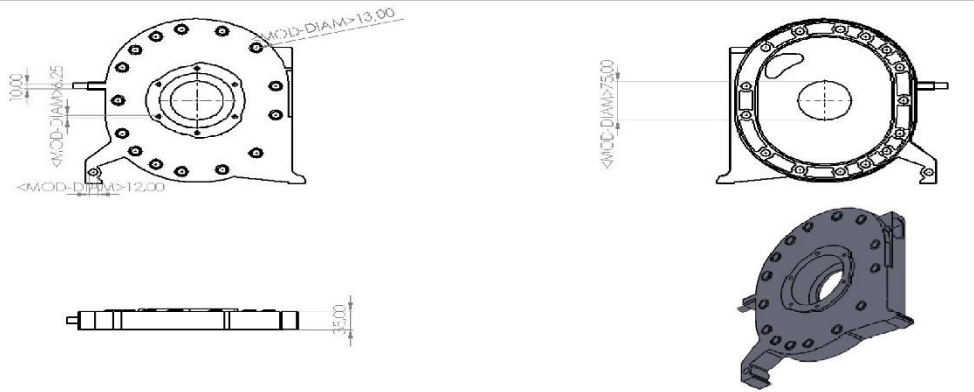


Fig.III.24 pièce finale de vilebrequin obtenue

### III.5.4 Les plaque de moteur (plaque avant, plaque centrale, plaque arrière) :

#### III.5.4.1Plaque avant



repère	Quantité	nom	Désignation	longueur	pois U (g)
06	01	plaque avant	block		
N affaire		WK:01	date création:	14/05/2023	University Mohamed Boudiaf of M'sila
nom affaire		MOTEUR	dessinateur:	benkheill & bessal	
<b>croquis d'usage</b>					

Fig.III.25 Miss en plan de plaque avant

On a utilisé les fonctions illustrées ci-dessous pour obtenir la pièce finale (Fig. III. 26)

- Extruded boss /bas
- Extruded cut
- Revolved boss/bas
- Revolved cut
- Fillet
- Linear pattern

La pièce finale du bloc moteur est réalisée comme il est représenté dans la

(Figure. III. 26)

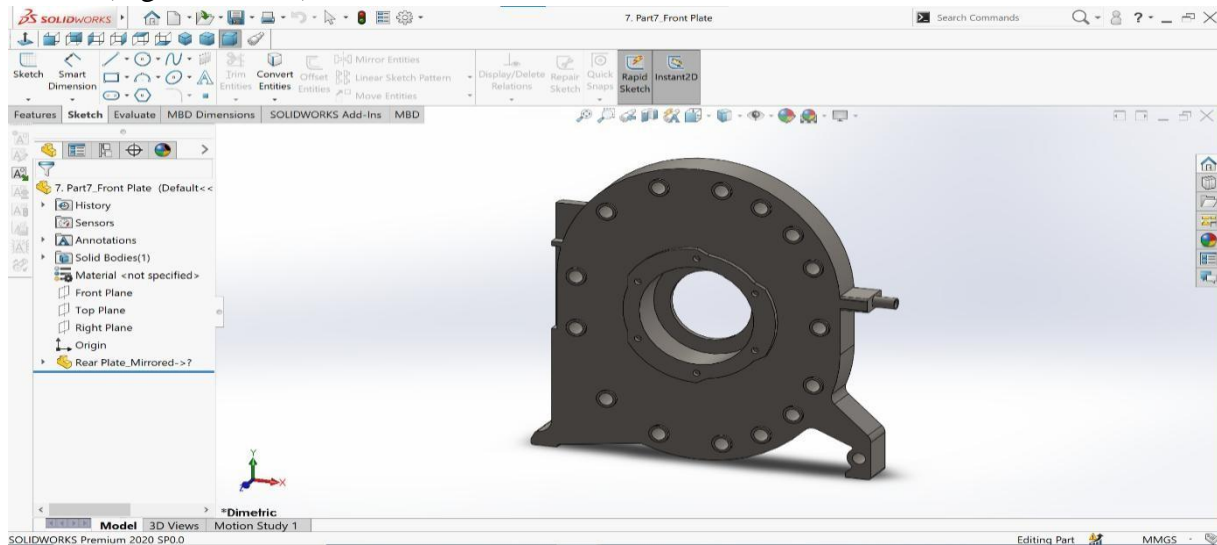


Fig.III.26. pièce final plaque avant

III.5.4.2 plaque centrale :

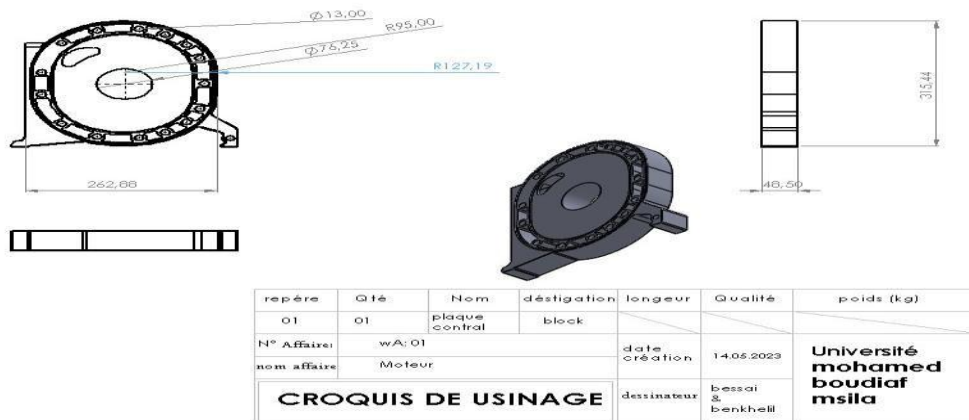


Fig.III.27 Miss en plan de plaque central

On a utilisé les fonctions illustrées ci-dessous pour obtenir la pièce finale (Fig. III. 28)

- Extruded boos /bas
- Extruded cut
- Revolved boss/bas
- Revolved cut
- Fillet
- Linear pattern

La pièce finale du bloc moteur est réalisée comme il est représenté dans la (Figure. III. 28)

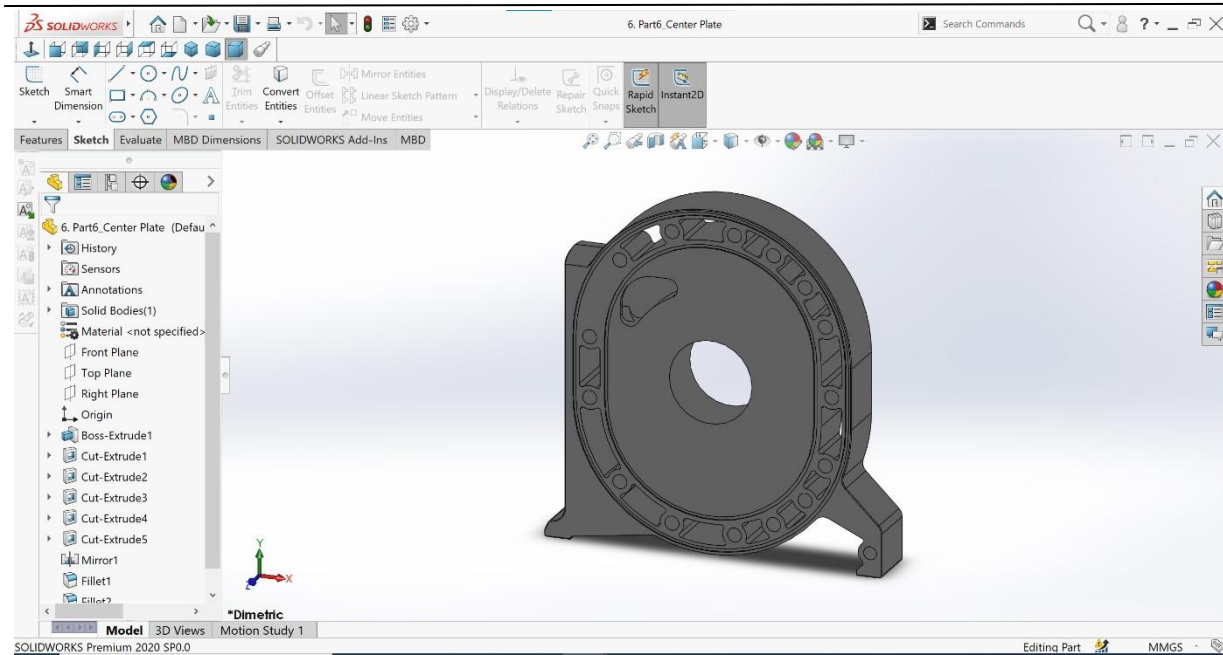
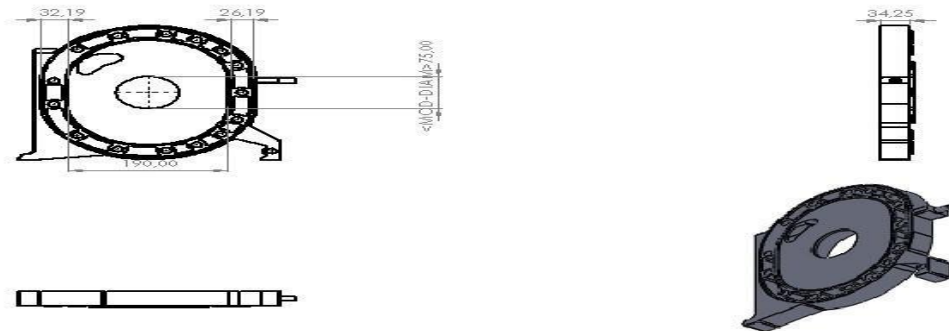


Fig.III.28 pièce finale de plaque central

III.5.4.3 plaques arrière :



repère	Quantité	nom	Désignation	longueur	poide U (g)
07	01	plaque arrière	Block		
N affaire		WK:01	date	4/05/2023	University Mohamed Boudiaf of M'sila
nom affaire		MOTEUR	dessinateur:	benkhell & bessal	
<b>croquis d'usinage</b>					

Fig.III.29 Miss en plan de plaque arrière

On a utilisé les fonctions illustrées ci-dessous pour obtenir la pièce finale (Fig. III. 30)

- Extruded boos /bas
- Extruded cut
- Revolved boss/bas
- Revolved cut
- Fillet
- Linear pattern

La pièce finale du bloc moteur est réalisée comme il est représenté dans la

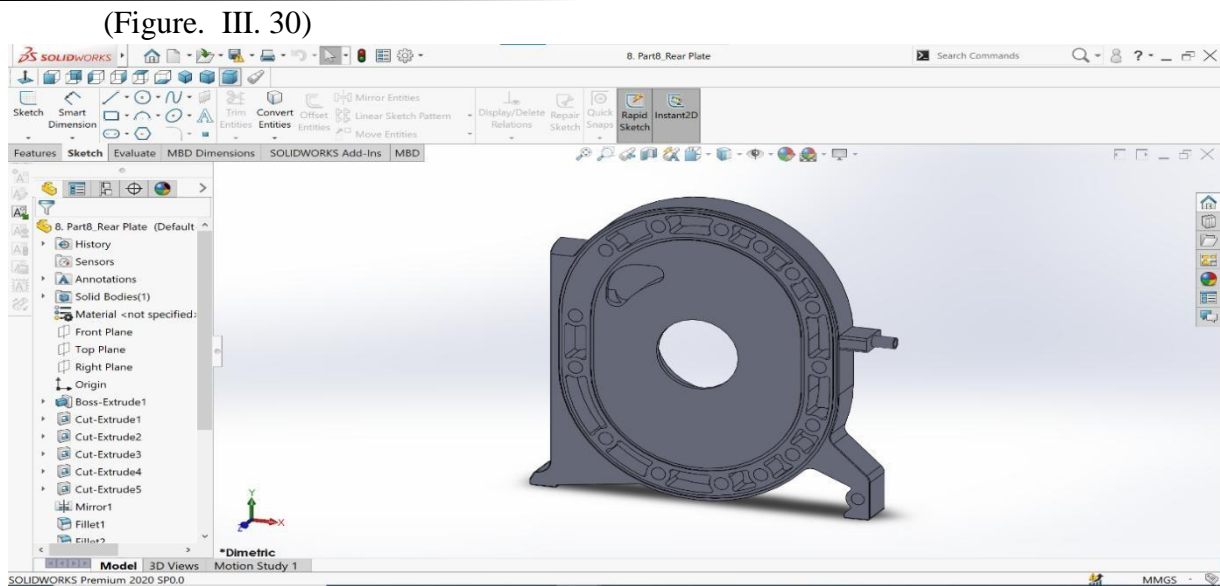
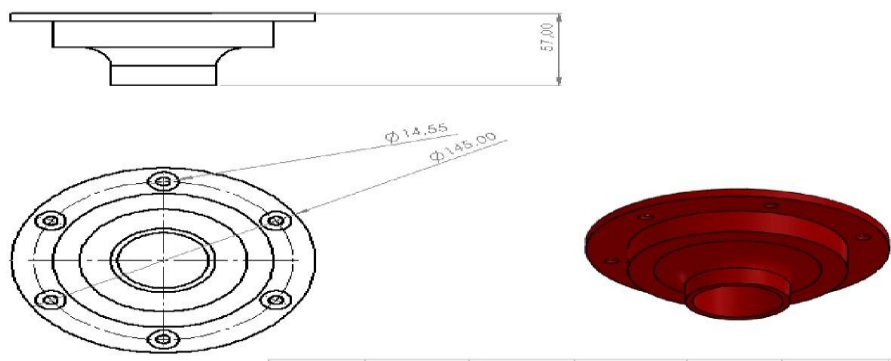


Fig.III.30 plaque arrière en SolidWork

III.5.5 Les train :



repère	Qté	Nom	désignation	longueur	Qualité	poids (kg)
09	02	train	plaque			
N° Affaire:	wA: 01			date création	14.05.2023	<b>Université mohamed boudiaf msila</b>
nom affaire	Moteur			dessinateur	bessai & benkhellil	
<b>CROQUIS DE USINAGE</b>						

Fig.III.31 miss en plan du train

On a utilisé les fonctions illustrées ci-dessous pour obtenir la pièce finale (Fig. III. 32)

- Revolved boss/bas
- Fillet
- Linear pattern
- Hole wizard

La pièce finale du bloc moteur est réalisée comme il est représenté dans la (Figure. III. 32)

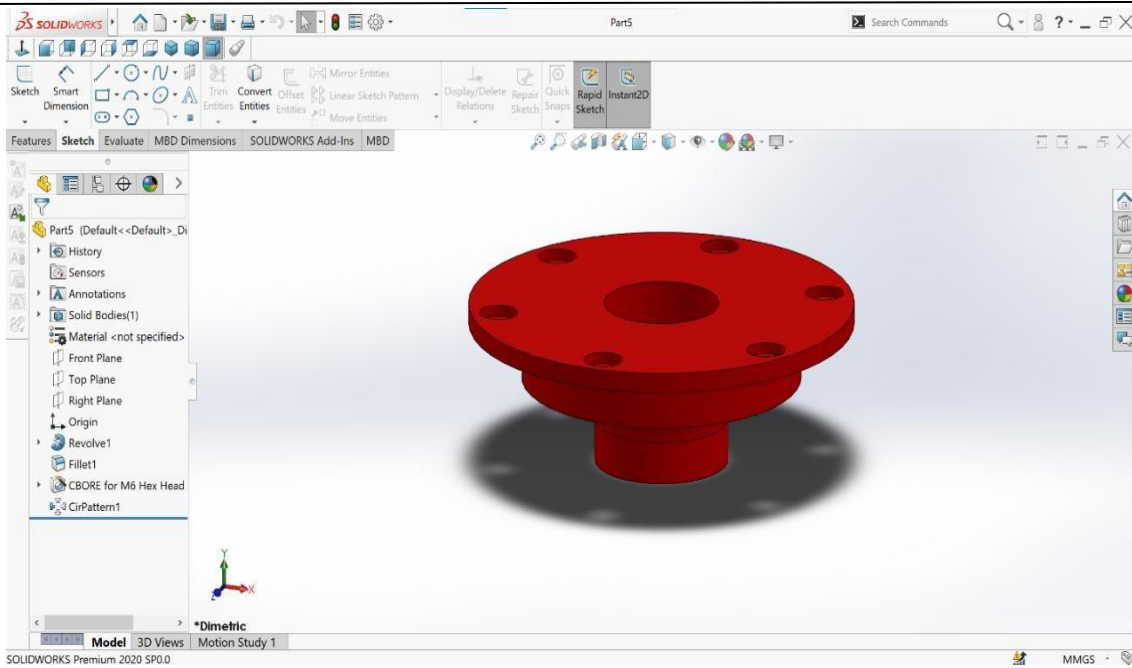
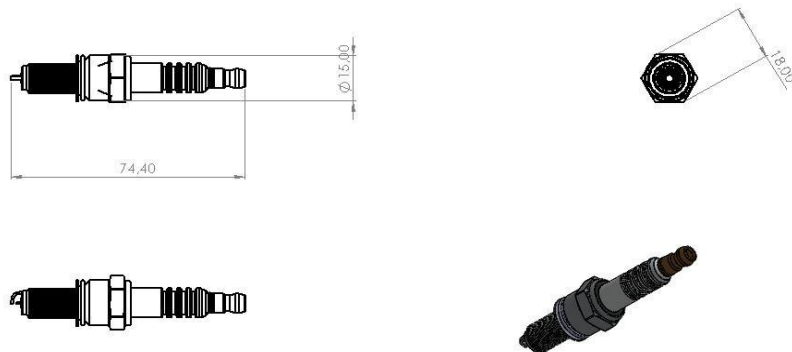


Fig.III.32 trains en solidworks

III.5.6 Bougie d'allumage :



repère	Qté	Nom	désignation	longeur	Qualité	poids [kg]
05	02	bougie d'allumage	block			
N° A ffaire:	wA: 01			date création	14.05.2023	<b>Université mohamed boudiaf msila</b>
nom affaire	Moteur			dessinateur	bessai & benkheill	
<b>CROQUIS DE USINAGE</b>						

Fig.III.33 miss en plan du bougie d'allumage

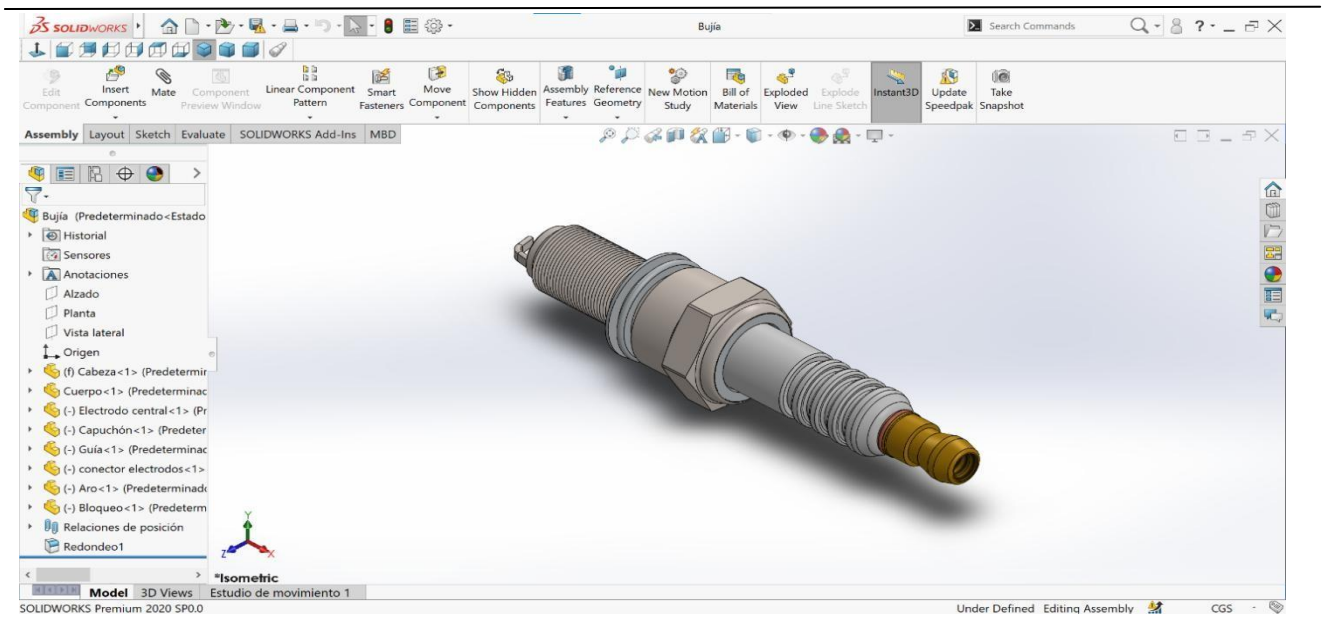


Fig.III.34 bougie d’allumage en SolidWorks

**III.5.7 Assemblage Final :**

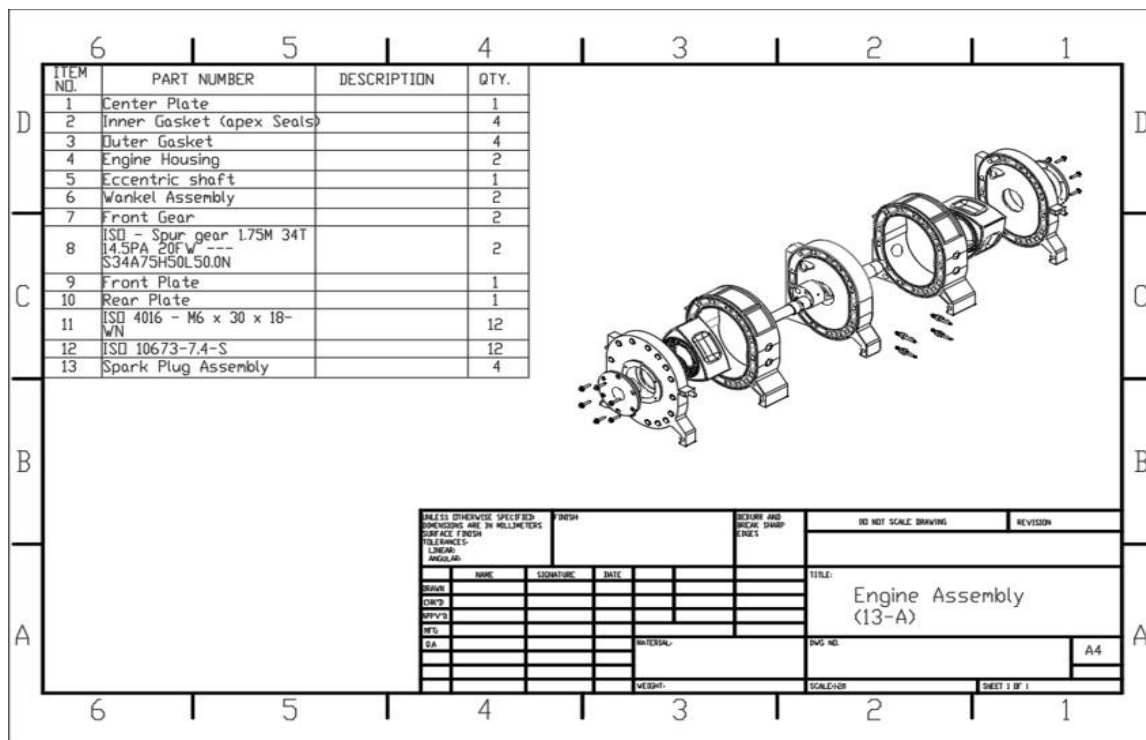


Fig.III.35 miss en plan d’assemblage

**Les contraintes utilisées**

On utilise les contraintes suivantes pour obtenir l'assemblage général du moteur (fig.III.36) :

- Coïncident

**Exemple** : block avec plaque

- Parallèle

**Exemple** : le piston avec le plan front

- Concentric

**Exemple** : le piston avec vilebrequin

- Width

**Exemple** : Le segment avec le piston

- Gear

**Exemple** Pignon de piston avec pignon de train

L'assemblage final obtenu du moteur wankel obtenu est réalisé comme il est représenté dans la (fig.III.36)

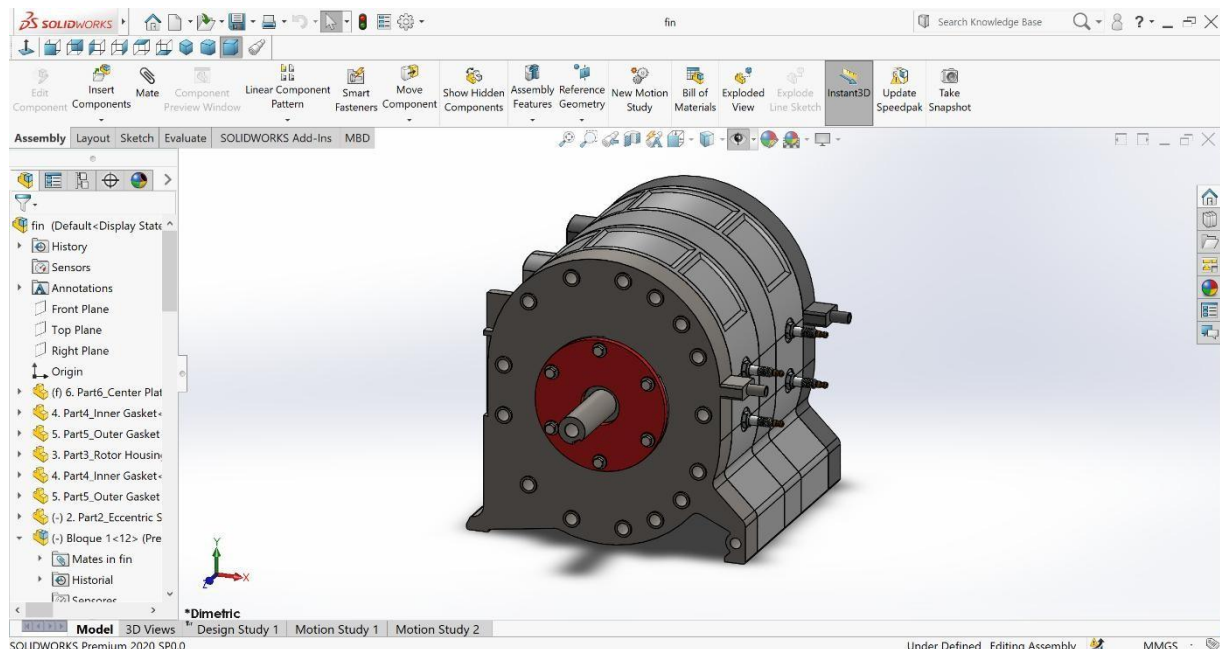


Fig.III.36 assemblage final



## **Conclusion**

Dans le cadre de notre projet de fin d'études, nous avons entrepris une étude approfondie ainsi que la modélisation du moteur Wankel à piston rotatif. Les trois chapitres de notre travail nous ont permis de présenter de manière exhaustive ce moteur et ses caractéristiques techniques, offrant ainsi une vision d'ensemble complète.

D'une manière générale, notre projet a établi les fondements en abordant les notions des moteurs thermiques. Nous avons examiné divers types de moteurs thermiques, en mettant l'accent sur les avantages et les inconvénients du moteur Wankel par rapport aux moteurs à piston alternatif. Cette section nous a permis de comprendre l'importance et la pertinence de notre étude.

Egalement, nous avons réalisé un bilan énergétique et effectué le dimensionnement du moteur Wankel. Nous avons utilisé des méthodes analytiques les différentes performances du moteur, telles que son rendement thermique et sa puissance. Ces calculs nous ont permis d'obtenir des résultats concrets et d'évaluer les performances attendues du moteur.

Finalement et le plus important, nous avons utilisé le logiciel SolidWorks pour effectuer la modélisation du moteur Wankel. Nous avons créé un modèle 3D détaillé du moteur en prenant en compte toutes les pièces et leurs interactions. Cette modélisation nous a permis de visualiser virtuellement le fonctionnement du moteur et d'analyser sa géométrie ainsi que ses performances.

Ce travail constitue une étape importante dans l'étude et l'optimisation des moteurs Wankel, et ouvre la voie à de futures améliorations et développements dans ce domaine.

## Référence

1. *Bensing, Wolf-Dieter (1973). Rotationskolben-Verbrennungsmotoren (in German). Berlin, Heidelberg, New York. p. 65. ISBN 978-3-540-05886-1. OCLC 251737493.*
2. *Bensing, Wolf-Dieter (1973). Rotationskolben-Verbrennungsmotoren (in German). Berlin, Heidelberg, New York. p. 64. ISBN 978-3-540-05886-1. OCLC 251737493.*
3. *Yamamoto, K. (1981). Rotary Engine. Sankaido. p. 15. ISBN 97899973-41-17-4. Formula 2.27 and 2.30; Yamamoto uses  $V_h$  for  $V_k$ . In this article,  $V_k$  is used for convenience*
4. *Corbat, Jean Pierre; Pawlowski, Uwe L. (1973). Kreiskolbenmotoren des Systems NSU-Wankel ihre Berechnung und Auslegung (in Swiss High German). Basel. p. 8. ISBN 978-3-0348-5974-5. OCLC 913700185. Formula 56 with  $k=R/e$*
5. *Bender, Beate; Göhlich, Dietmar (2019). Dubbel Taschenbuch für den Maschinenbau Band 3 (in German). Berlin: Springer-Verlag. p. 126. ISBN 978-3-662-59714-9. OCLC 1105131471.*
6. *Ansdale, R.F.; Keller, H. (1971). Der Wankelmotor: Konstruktion und Wirkungsweise (in German). Stuttgart: Motorbuch-Verlag. p. 79 formula 6.13.*
7. *Manteuffel, P. (1971). "Rotary Piston Engines". Mechanical Prime Movers. London: Macmillan. p. 74. doi:10.1007/978-1-349-01182-7\_6. ISBN 978-1-349-01184-1.*
8. *Okimoto, Haruo (2002). "Der Rotationskolbenmotor Renesis". MTZ - Motortechnische Zeitschrift (in German). Springer. 63 (10): 810. doi:10.1007/bf03226650. ISSN 0024-8525.*
9. *Okimoto, Haruo (2002). "The Renesis rotary engine". MTZ Worldwide. Springer. 63 (10): 8. doi:10.1007/bf03227573. ISSN 2192-9114.*
10. *Bensing, Wolf-Dieter (1973). Rotationskolben-Verbrennungsmotoren (in German). Berlin, Heidelberg, New York. p. 66. ISBN 978-3-540-05886-1. OCLC 251737493.*
11. *Ansdale, R.F.; Keller, H. (1971). Der Wankelmotor: Konstruktion und Wirkungsweise (in German). Stuttgart: Motorbuch-Verlag. pp. 82–83.*

12. *Bensinger, Wolf-Dieter (1973). Rotationskolben-Verbrennungsmotoren (in German). Berlin, Heidelberg, New York. p. 133. [ISBN 978-3-540-05886-1](#). [OCLC 251737493](#).*