

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
المركز الجامعي لعين تموشنت
Université d'Ain-Temouchent - Belhadj Bouchaib
Institut des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Mécanique



Projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme de Master en :
Domaine : SCIENCE ET TECHNOLOGIE
Filière : GENIE MECANIQUE
Spécialité : CONSTRUCTION MECANIQUE
Thème

Etude et modélisation du comportement thermomécanique du bloc cylindre d'un moteur à combustion interne de type essence

Présenté le 28/06/2020 par :

- 1) ABID Mohammed El Amine
- 2) KARA HADDACHE Noredine

Devant les jurys composés de :

| | | |
|-------------------------|------------------------|-----------|
| Dr. AMIRAT Mohamed | U.B.B (Ain Temouchent) | Président |
| Dr BENZENINE Hamidou | U.B.B (Ain Temouchent) | Examineur |
| Dr.BELOUFA Mohamed Amin | U.B.B (Ain Temouchent) | Encadreur |

Année universitaire 2019/2020



Formulaire de déclaration sur l'honneur Relatif à l'engagement pour respecter les règles d'authenticité scientifique dans l'élaboration d'un travail de recherche

(Annexe de l'arrêté n°933 du 28 juillet 2016 fixant les règles relatives à la prévention et la lutte contre le plagiat)

Je soussigné, l'étudiant (e),

..... *KARA HADDACH* *Notre domaine*

Détenteur d'une carte d'étudiant N°..... *2948*..... délivrée le... *2015/2016*

Inscrit à l'institut de Technologie au niveau du département *Mécanique*

Et chargé de préparer un mémoire de fin d'étude en Master 2.

Intitulé :..... *étude et modélisation du comportement*

..... *thermomécanique du bloc cylindre d'un moteur à*

..... *combustion interne de type essence*

Déclare sur l'honneur, m'engager à respecter les règles scientifiques, méthodologiques, et les normes de déontologie professionnelle et de l'authenticité académique requise dans l'élaboration du projet de recherche suscité.

À *Hamman Bou-Hadj* le *16* *06* *2020*

Signature de l'étudiant :

Kara
H. G.



Formulaire de déclaration sur l'honneur Relatif à l'engagement pour respecter les règles d'authenticité scientifique dans l'élaboration d'un travail de recherche

(Annexe de l'arrêté n°933 du 28 juillet 2016 fixant les règles relatives à la prévention et la lutte contre le plagiat)

Je soussigne, l'étudiant (e),

..... ALIBID Mohammed EL Amine

Détenteur d'une carte d'étudiant N°..... 2437 délivrée le..... 22/4/2015

Inscrit à l'institut de Technologie au niveau du département mécanique

Et chargé de préparer un mémoire de fin d'étude en Master 2.

Intitulé : Etude et modélisation du comportement thermomécanique
..... du bloc cylindre d'un moteur à combustion interne
..... de type essence

Déclare sur l'honneur, m'engager à respecter les règles scientifiques, méthodologiques, et les normes de déontologie professionnelle et de l'authenticité académique requise dans l'élaboration du projet de recherche suscit.

À Hamam Bouhadj le 16/06/2020

Signature de l'étudiant :

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions le Dieu, notre créateur de nous avoir donné les forces pour accomplir ce travail.

*Premièrement et avant tout, nous adressons le grand remerciement à notre Encadreur **Mr. Beloufa Mohamed Amin** pour ses conseils et ses dirigés.*

Nous voulons également remercier tous les étudiants de notre promotion et nous souhaitons le bon courage à tous les étudiants pour finir ses études.

Nous voulons également remercier tout ce qui participe de réaliser ce mémoire ce commence par nos parents.

Enfin, nous avons le grand honneur de dédier ce modeste travail à :

Nos très chers parents

*Toute la famille **ABID** et **KARA HADDACHE***

A tous nos amis

A tous nos camarades de groupe « construction mécanique »

A tous les amis d'études

A tous les enseignants et toutes les enseignantes qui ont contribué

A nos formations tout au long de nos vies d'étude.

Résumé

Le bloc moteur est une pièce maitresse dans le fonctionnement de l'automobile, il subit de fortes contraintes sous sollicitations thermiques et physiques, il détermine la puissance du moteur par sa cylindrée et la vitesse maximum de rotation du vilebrequin.

Le présent travail est relatif à l'analyse thermomécanique du bloc moteur à l'aide d'un logiciel éléments finis « ANSYS-Workbench. »

Le choix de matériaux d'élaboration du bloc moteur est un facteur principal pour le bon fonctionnement, pour notre étude on a choisi l'acier standard mais les résultats ne sont pas tellement parfaits.

Le calcul avec d'autres matériaux comme la fonte et les alliages d'aluminium c'est pour trouver le plus convenable qui réduit la propagation des températures dans les temps combustion, échappement, compression et les contraintes thermomécaniques.

Abstract

The engine block is a substantial part in the operation of the automobile. it undergoes great stresses under thermal and physical stresses. it determines the power of the engine by its cubic capacity and rotation maximal speed of the crankshaft.

The current study presents the thermomechanical analysis of the engine block with the use of a finite element software « ANSYS-Workbench. »

The choice of materials to develop the engine block is a major factor for a good functioning. therefore, in the present work, standard steel is chosen. however, the results are not perfect.

The calculation using other materials such as cast iron and aluminium alloys is to compare and find the most suitable one that reduces the propagation of temperatures over time combustion, exhaust, compression and thermomechanical stresses.

ملخص

تعد كتلة المحرك جزءاً مهماً في تشغيل السيارة. يتعرض الهيكل او كتلة المحرك لضغوط كبيرة منها حرارية ومادية. حيث تحدد الكتلة قوة المحرك من خلال سعته المكعبة وسرعة الدوران القصوى لعمود المرفق.

نقدم الدراسة الحالية تحليل الميكانيكي الحراري لكتلة المحرك باستخدام برنامج العناصر المحدودة

« ANSYS-Workbench. »

اختيار المواد المناسبة لتطوير كتلة المحرك هو عامل رئيسي لأداء جيد. لذلك، في عملنا هذا الحالي، قمنا باختيار "الصلب القياسي". ومع ذلك، فإن النتائج لم تكن ليست مثالية.

الاختبار باستخدام مواد أخرى مثل "الحديد الزهر" و"سبائك الألومنيوم" هو للمقارنة والعثور على المادة الانسب التي تقلل من انتشار درجات الحرارة بمرور الوقت من الاحتراق والعامد والضغط والضغط الميكانيكية الحرارية

SOMMAIRE

| | |
|---|-----------|
| INTRODUCTION GENERALE | 1 |
| CHAPITRE I PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES MOTEURS | 3 |
| I. INTRODUCTION :..... | 4 |
| II. GENERALITES SUR LES MOTEURS THERMIQUE :..... | 4 |
| II.1 L’histoire du moteur thermique : | 4 |
| II.2 Ensemble du moteur thermique :..... | 5 |
| II.2.1 Organes fixes : Les parties fixes comprennent essentiellement :..... | 6 |
| II.2.2 Organes mobiles : Les organes mobiles d’un moteur sont essentiellement. | 6 |
| II.2.3 Présentation des organes fixes et mobiles du moteur thermiques :..... | 6 |
| II.3 Configurations du moteurs :..... | 15 |
| II.3.1 Moteur en ligne : | 16 |
| II.3.2 Moteur en V : | 17 |
| II.3.3 Moteur en W : | 18 |
| II.3.4 Moteur à plat : | 19 |
| II.3.5 Moteur en étoile : | 20 |
| II.4 Principales différences entre le moteur à essence et le moteur diesel | 20 |
| II.4.1 Classification des deux moteurs :..... | 21 |
| II.4.2 Cycle théorique de Beau de Rochas (4temps):..... | 21 |
| II.4.3 Le moteur à essence et le moteur diesel :..... | 23 |
| II.4.4 Principales différences entre le moteur à essence et le moteur diesel :..... | 25 |
| II.4.5 Essence et diesel : avantages et inconvénients :..... | 27 |
| Conclusion: | 31 |
| CHAPITRE II LE BLOC MOTEUR | 34 |
| I. INTRODUCTION :..... | 34 |
| II. IDENTIFICATION DU BLOC MOTEUR : | 34 |
| II.1 Histoire | 34 |

| | | |
|-------|---|----|
| II.2 | Description du bloc moteur : | 34 |
| II.3 | Constitution du bloc cylindre : | 35 |
| II.4 | Le rôle du bloc moteur au niveau du système : | 35 |
| III. | Les fonctions du bloc moteur au niveau du système : | 35 |
| III.1 | <i>Fonctions principales</i> : | 35 |
| III.2 | <i>Fonctions secondaires</i> : | 36 |
| III.3 | <i>Fonctions de contrainte</i> : | 36 |
| IV. | Différents types de réalisation | 37 |
| V. | LE CHEMISAGE D'UN BLOC NON CHEMISE D'ORIGINE: | 38 |
| V.1 | Chemisage..... | 38 |
| V.1.1 | Bloc sans chemises : | 38 |
| V.1.2 | Chemises sèches | 39 |
| V.1.3 | Chemises humides..... | 39 |
| VI. | MATERIEAUX UTILISES DU BLOC MOTEUR..... | 40 |
| VI.1 | <i>Bloc-moteur en aluminium:</i> | 40 |
| VI.2 | <i>Bloc-moteur en fonte</i> : | 41 |
| VI.3 | <i>Bloc-moteur en magnésium</i> | 41 |
| VII. | Le remplacement des chemises en fonte sur les blocs aluminium : | 41 |
| VIII. | La diminution des blocs fonte et l'avenir du bloc moteur avec l'arrivée des véhicules électriques | 42 |
| IX. | Procédé de fabrication d'un bloc moteur : | 42 |
| IX.1 | Technique de fabrication par moulage en sable : | 44 |
| X. | Détection des Défauts | 45 |
| X.1 | <i>Contrôle du bloc cylindre</i> | 45 |
| X.1.1 | Vérification du l'alésage des cylindres | 45 |
| X.1.2 | Vérification de surface du joint : | 46 |
| XI. | LE COMPERTEMENT THERMOMECANIQUE | 46 |

| | |
|---|-----------|
| Conclusion: | 48 |
| CHAPITRE III MODELISATION ET SIMULATION D'UN BLOC MOTEUR..... | 52 |
| I. INTRODUCTION..... | 51 |
| II. La modélisation du Bloc moteur :..... | 51 |
| II.1 Simulation du Bloc moteur en ANSYS 16.2 R1 workbench :..... | 52 |
| II.2 Dimensionnement et géométrie du Bloc moteur:..... | 52 |
| II.3 Les différentes propriétés de matériau utilisé : | 53 |
| III. Maillage | 55 |
| III.1 Les éléments utilisés dans maillage « fin » : | 56 |
| IV. Moteur a 4 temps 1324 : | 56 |
| V. Procédure de calcul thermomécanique :..... | 57 |
| V.1 Les conditions aux limites thermiques : | 57 |
| V.1.1 La zone de refroidissement : | 58 |
| V.1.2 Equation de la chaleur :..... | 59 |
| V.1.3 La dilatation thermique : | 60 |
| V.1.4 La déformation totale est donnée par : | 60 |
| V.1.5 Formulation élément finis de l'équation de la chaleur :..... | 60 |
| V.2 Les conditions aux limites mécaniques :..... | 60 |
| V.2.1 Gravité terrestre :..... | 60 |
| V.2.2 Support fixe :..... | 61 |
| V.2.3 La pression appliquée dans chaque cylindre :..... | 61 |
| V.2.4 La pression appliquée sur les 5 paliers :..... | 62 |
| V.3 Formulation élément finis de l'équation de la mécanique :..... | 63 |
| V.4 Le taux de compression..... | 65 |
| CHAPITRE IV RESULTAT DE L'ANALYSE | 67 |
| I. Introduction :..... | 67 |
| II. Acier standard | 67 |

| | |
|--|-----------|
| II.1 Cas normal : | 67 |
| II.1.1 Température: | 67 |
| II.1.2 Flux de chaleur total : | 68 |
| II.1.3 Déformation thermique : | 68 |
| II.1.4 Déformation totale équivalente : | 69 |
| II.1.5 Contrainte équivalente (Von-Mises) : | 69 |
| II.1.6 Déplacement total:..... | 70 |
| II.1.7 La trajectoire : | 71 |
| II.2 Cas accidentel : | 75 |
| II.2.1 Température: | 75 |
| II.2.2 Contrainte équivalente (Von-Mises) : | 75 |
| III. Comparaison entre le cas normal et le cas accidentel : | 77 |
| CONCLUSION GENERALE..... | 80 |

Liste des figures

| | |
|---|-----------|
| Figure 1 : Schéma d'ensemble d'un moteur thermique [2] | 5 |
| Figure 2 : Bloc-moteur[4] | 8 |
| Figure 3 : La culasse [4] | 9 |
| Figure 4 : le Carter [4] | 10 |
| Figure 5 : Collecteurs d'échappement [4] | 10 |
| Figure 6 : Le Piston [4] | 11 |
| Figure 7 : La Bielle [4] | 12 |
| Figure 8 : Vilebrequin [4] | 13 |
| Figure 9 : Le Volant moteur [4] | 13 |
| Figure 10 : La Soupapes et l'arbre à came [4] | 14 |
| Figure 11 : Principe de fonctionnement d'un moteur [4] | 15 |
| Figure 12 : Disposition des cylindres [7] | 15 |
| Figure 13: Moteur en ligne [7] | 16 |
| Figure 14: Moteur en v [7] | 17 |
| Figure 15: Moteur en W [7] | 18 |
| Figure 16: un Flat 6, l'équivalent d'un V6 à plat (180°) [7] | 19 |
| Figure 17: un Boxer de Porsche Boxster [7] | 19 |
| Figure 18: Moteur en étoile [7] | 20 |
| Figure 19: Les quatre phases de fonctionnements [8] | 22 |
| Figure 20: La Classification des moteurs [8] | 22 |
| Figure 21: Moteur essence et moteur diesel [8] | 23 |
| Figure 22: Moteurs à 4 temps | 23 |
| Figure 23: Cycle théorique de Beau de Rochas pour un moteur à 4 temps | 24 |
| Figure 24: Les quatre phases de fonctionnements [8] | 25 |
| Figure 25: GPL injecteur installé dans le moteur à essence [9] | 30 |
| Figure 26: Schéma d'ensemble Bloc-cylindres [2] | 34 |
| Figure 27 : Le chemisage du bloc cylindre [4] | 38 |
| Figure 28: Chemise sèches [5] | 39 |
| Figure 29: chemises humides | 40 |
| Figure 30: Revêtement plasma sur un bloc-moteur aluminium par une mini-torche tournante. [6] | 41 |
| Figure 31: Le moulage sable d'un bloc moteur [8] | 43 |

| | |
|---|-----------|
| Figure 32: Un bloc moteur en fonderie [8] | 43 |
| Figure 33: Vérification de l'alésage des cylindres [9] | 45 |
| Figure 34: Vérification de surface du joint [9] | 46 |
| Figure 35 : La modélisation du bloc moteur à 4 temps | 51 |
| Figure 36 : Simulation du Bloc moteur en ANSYS R16.2 workbench | 52 |
| Figure 37 : Les dimensions du Bloc moteur (en mm) | 52 |
| Figure 38 : Maillage fin tétra-hydrique quadratique du Bloc moteur | 56 |
| Figure 39 : Maillage tétra-hydrique quadratique du Bloc moteur | 56 |
| Figure 40 : Un moteur à 4 temps fonctionne selon le principe 1342 | 57 |
| Figure 41 : Température de chaque cylindre (moteur à 4 temps | 58 |
| Figure 42 : la zone de refroidissement sur le bloc moteur | 58 |
| Figure 43 : Les surfaces exposées à la température de liquide de refroidissement | 59 |
| Figure 44 : gravité terrestre sur le bloc moteur | 60 |
| Figure 45 : Support fixe sur le bloc moteur. | 61 |
| Figure 46 : Pression appliquée dans chaque cylindre | 61 |
| Figure 47 : La pression appliquée sur les 5 paliers. | 62 |
| Figure 48 Distribution de la température dans le bloc moteur | 67 |
| Figure 49 Flux de chaleur total | 68 |
| Figure 50 La déformation thermique | 68 |
| Figure 51 La déformation totale équivalente | 69 |
| Figure 52. La contrainte équivalente (Von-Mises) | 69 |
| Figure 53. Déplacement total | 70 |
| Figure 54: La trajectoire | 71 |
| Figure 55. Température en fonction de la longueur de la trajectoire | 72 |
| Figure 56 La contrainte équivalente (Von-Mises) en fonction de la longueur | 73 |
| Figure 57: La déformation thermique en fonction de la longueur | 73 |
| Figure 58: Le déplacement total en fonction de la longueur | 74 |
| Figure 59: La déformation totale équivalente en fonction de la longueur | 74 |
| Figure 60: Distribution de la température dans le bloc moteur | 75 |
| Figure 61: La contrainte équivalente (Von-Mises) | 76 |
| Figure 62: La température en fonction de la longueur | 76 |
| Figure 63: La contrainte équivalente (Von-Mises) en fonction de la longueur | 77 |
| Figure 64: Comparaison entre le cas normal et le cas accidentel | 77 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|-----------|
| Tableau 1: Les différences entre le moteur à essence et le moteur diesel | 27 |
| Tableau 2: Essence et diesel, avantages et inconvénients | 29 |
| Tableau 3: Différents types de réalisation | 37 |
| Tableau 4 : Les propriétés de l'acier standard suggérer pour la simulation [1]..... | 54 |
| Tableau 5 : Les propriétés physiques pour l'étude | 55 |
| Tableau 6 : Les conditions thermiques moteur essence à CI (Température des 4 temps). [3] | 59 |
| Tableau 7 : Les conditions mécanique moteur essence à CI [3]..... | 61 |
| Tableau 8. Les coordonnées de la trajectoire (mm)..... | 71 |
| Tableau 9: les valeurs maximales de l'acier standard..... | 78 |

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

La propulsion du véhicule est habituellement obtenue au moyen de moteurs, à savoir dispositifs mécaniques capables de convertir l'énergie chimique d'un combustible en énergie mécanique.

Le bloc moteur a des performances mécaniques et énergétiques dans le moteur d'automobile à essence comme aussi dans la plupart des moteurs thermiques (diesel, GPL, hydrogène...), avec des différentes dispositions et formes mais a un seul principe de fonctionnement.

L'objectif de cette étude consiste à bien étudier la modélisation thermomécanique d'un bloc moteur dans un moteur thermique et de représenter les performances, afin de faire la simulation.

L'architecture de ce mémoire est présentée par quatre chapitres :

Le premier chapitre décrit le principe de fonctionnement des moteurs, leurs différents types, le principe de fonctionnement et les avantages et les inconvénients et la consommation de chaque type.

Le deuxième chapitre, donne une identification de bloc moteur (solicitations thermiques et mécaniques, le choix de matériaux d'élaboration, L'inspection des défauts)

Le troisième chapitre constitue une modélisation et simulation d'un bloc moteur, d'abord le dimensionnement et la conception de la pièce bloc moteur par le logiciel (CATIA V5), et puis nous engageons avec un éditeur de logiciels spécialisé en simulation numérique qui est (ANSYS WORKBENCH 16.2) où on a fait le maillage fin avec l'application des conditions aux limites thermiques et mécaniques.

Le quatrième chapitre contient les résultats des calculs de chapitre qui le précède. Alors, dans ce chapitre on va comparer entre les deux cas de notre matériau utilisé « Acier standard », le premier, cas normal (avec liquide de refroidissement) et le deuxième, cas accidentel (sans liquide de refroidissement).

CHAPITRE I

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES MOTEURS

I. INTRODUCTION :

Dans notre premier chapitre, on analyse et étudie le principe de fonctionnement des moteurs thermiques et leurs cycles thermodynamiques, les différents éléments constituant le moteur, les différents types du moteur d'essence ainsi que leurs avantages et les inconvénients

II. GENERALITES SUR LES MOTEURS THERMIQUE :

Les moteurs thermiques ont pour rôle de transformer l'énergie thermique en énergie mécanique, ils sont encore appelés les moteurs à combustion interne et sont généralement distingués en deux types.

Les moteurs à combustion interne où le système est renouvelé à chaque cycle, le système est en contact avec une seule source de chaleur (l'atmosphère), c'est le cas des moteurs à essence et diesel. Les moteurs à combustion externe où le système (air) est recyclé, sans renouvellement, ce qui nécessite alors deux sources de chaleur, par exemple dans cette dernière catégorie on trouve les machines à vapeur, le moteur Stirling. [1]

II.1 L'histoire du moteur thermique :

C'est en 1769 que James Watt dépose le brevet de sa machine à vapeur, une amélioration de celle de Thomas Newcomen construite en 1712. La même année, le français Joseph Cugnot construit son fardier à vapeur, il roulait à environ 4 km/h et était sensé servir à transporter les canons de l'armée, c'est la première automobile de l'histoire. Ces différentes inventions et leurs utilisations entraînent la révolution industrielle.

Quelques années plus tard, en 1807, François Isaac de Rivaz dépose le brevet de son moteur à explosion, inspiré par Christian Huygens, un physicien et astronome du XVIIIe siècle. Il mit en évidence le principe du moteur à combustion interne, au moyen d'un tube de métal chauffé au rouge qui lui permit de déplacer un piston de 70 kg sur 30 cm.

Le moteur de de Rivaz n'étant pas très performant, son utilisation ne fut possible qu'en 1862, après l'invention théorique du cycle à quatre temps du français Alphonse Eugène Beau ou Beau de Rochas. 3 ans plus tôt, Etienne Lenoir déposait son brevet d'un moteur à gaz et à air dilaté, un moteur à combustion interne à deux temps. Il le fabriqua en 400 exemplaires en 1860 qui servirent sur le premier bateau à moteur en 1861. Ce moteur consommait 18 litres de gaz d'éclairage pour développer une puissance de deux chevaux. Grâce au cycle de Beau de

Rochas, Lenoir put inventer par la suite, en 1883, un autre moteur, mais à quatre temps, équipé d'une bougie d'allumage, une autre de ses inventions, et d'un refroidissement à eau. Il équipa également son moteur d'un carburateur lui permettant de remplacer le gaz d'éclairage par du pétrole. Il construisit ensuite une automobile qui joignit Paris à Joinville-le-Pont (située à 9km) en 3 heures.

Parallèlement, Nikolaus Otto et Gottlieb Daimler développent eux aussi le moteur à 4 temps, mais ils font ce moteur à essence plus léger et plus rapide, raison pour laquelle les Français Panhard et Levassor utiliseront son invention dès 1891. Le cycle de Beau de Rochas fut alors plus connu sous le nom de cycle d'Otto. En 1897, Rudolf Diesel invente le moteur diesel, qui fonctionnait au départ avec des huiles végétales, puis avec du fioul, car sa viscosité est inférieure et donc sa pulvérisation plus facile.

Depuis les moteurs à combustion interne n'ont subi que des modifications mineures, comme la modification de certains carburants, et notamment le sans-plomb, que l'on améliore en augmentant l'indice d'octane. [2]

II.2 Ensemble du moteur thermique :

La figure représente la composition d'un moteur thermique :

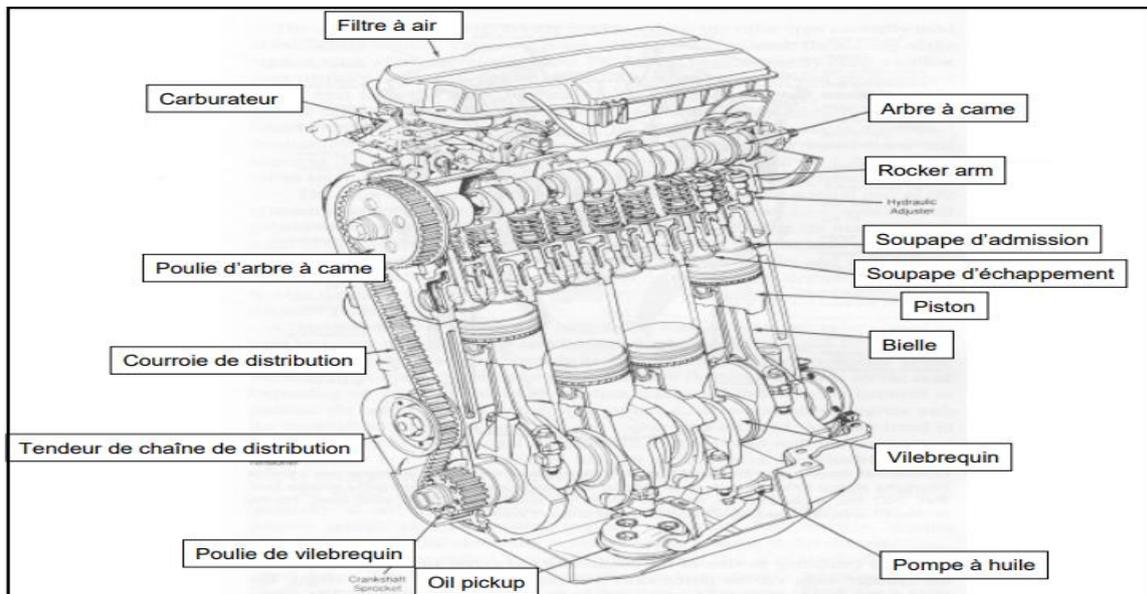


Figure 1 : Schéma d'ensemble d'un moteur thermique [2]

II.2.1 Organes fixes : Les parties fixes comprennent essentiellement :

- la culasse.
- le bloc-cylindres.
- les carters.
- les collecteurs d'admission et d'échappement

II.2.2 Organes mobiles : Les organes mobiles d'un moteur sont essentiellement.

- les pistons.
- les bielles.
- le vilebrequin.
- le volant moteur.
- les soupapes et leurs commandes (distribution) [3]

II.2.3 Présentation des organes fixes et mobiles du moteur thermiques :**II.2.3.1 Organes fixes :****II.2.3.1.1 Bloc-moteur**

On l'appelle également " BLOC- CYLINDRES " ou " CARTER-CYLINDRES ". Il supporte directement ou non, les parois latérales des cylindres. Le bloc-cylindres formé d'une seule pièce est plus résistant aux efforts produits. Les matériaux de sa construction, soit les fontes spéciales soit les alliages légers à base mode d'obtention.

Il est soumis à des efforts complexes, l'assemblage au châssis n'est jamais rigide : on interpose des blocs antivibratoires qui ont la propriété de se déformer [1].

- ***Le rôle du bloc moteur et le cylindre***

- Il sert de support à tous les organes principaux (piston, vilebrequin,...) et aux organes annexes (démarrateur, conduits,...). C'est la pièce-maîtresse du moteur, le " châssis " de celui-ci.
- Il sert de glissière au piston ainsi qu'il contient les gaz et permet leur évolution et aussi Il détermine la cylindrée unitaire.

- ***Caractéristiques et qualités :***

Le bloc-moteur il doit être :

- rigide pour résister aux efforts engendrés par la combustion.
- Par conduction, il évacue une partie de la chaleur de la combustion.
- Il doit résister à la corrosion due au liquide de refroidissement, si ce système a été retenu.

Le cylindre il doit avoir :

- une bonne résistance aux frottements et à l'usure.
- une bonne résistance aux chocs thermiques et à la déformation.
- une grande précision d'usinage (cylindricité, perpendicularité...)

- ***Fabrication des matériaux utilisés :*** Le bloc est coulé et usiné. Il est :

1. soit en **fonte spéciale**

C'est de la fonte G.S. (Graphite Sphéroïdale) qui possède une grande facilité de moulage et des propriétés mécaniques équivalentes à celles de l'acier, sauf la soudabilité. Ses qualités sont améliorées par divers procédés : NITRURATION: traitement thermo-chimique de durcissement superficiel par l'azote. CÉMENTATION: Durcissement superficiel par le carbone.

2. soit en **alliage d'aluminium (ALPAX)**

Caractéristiques de ce matériau :

- léger.
- excellent conducteur thermique.
- bonne résistance à la corrosion.
- Fabrication facile: bonne mouillabilité.

- **Fixation du bloc cylindre :**

Par silent-blocs pour diminuer le bruit et les vibrations du véhicule.

- **Le carter inférieur**

- Il sert de réservoir d'huile.
- Il est en tôle d'acier emboutie ou en aluminium nervuré (meilleur refroidissement).
- Parfois cloisonné pour éviter les déjaugages de la pompe (ex: virages...).
- Parfois, généralement en compétition, afin de diminuer la hauteur et éviter les déjaugages, on utilise un "carter sec" : l'huile est rejetée dans un autre réservoir. On a alors 2 pompes à huile, une pompe de vidange et une pompe de pression.



Figure 2 : Bloc-moteur[4]

II.2.3.1.2 La culasse :

La culasse est une pièce fixe, assemblée sur le bloc-cylindres rigidement pour qu'elle résiste à la fois aux chocs des explosions et à la dilatation des pièces, étanches pour éviter toute fuite des gaz vers l'extérieur et la rentrée d'eau dans les cylindres. [4]

- **Matière :**

La culasse est une pièce en métal coulé, ce procédé de fabrication s'explique par sa forme complexe comme c'est le cas pour le bloc-moteur. Comme matière première, on utilise :

- l'aluminium.
- la fonte.

La qualité de la matière première revêt une grande importance

- **Mode d'obtention de culasses :**

L'invention concerne la réalisation de culasses moulées en alliages d'aluminium comportant au moins deux alliages différents, les alliages liquides peuvent comporter des particules solides à la coulée de taille et de forme variées de façon à réaliser des composites à matrice métallique après solidification.

Ce procédé de moulage de culasses composites comportant plusieurs couches successives (i) constituées d'au moins 2 alliages différents est caractérisé en ce qu'il consiste à couler dans la cavité d'un moule, par un système d'alimentation, chaque couche d'alliage (i-1)(i ~ 2) avec temps d'attente, entre fin de coulée de la couche (i-1) et début de la couche i. [4]



Figure 3 : La culasse [4]

II.2.3.1.3 Le Carter :

En mécanique, un carter est une enveloppe protégeant les organes mécanique, souvent fermée de façon étanche, et contenant le lubrifiant nécessaire à son fonctionnement [2].



Figure 4 : le Carter [4]

II.2.3.1.4 Collecteurs d'admission et d'échappement :

Le collecteur d'admission est un élément de la ligne d'air d'un moteur à explosion multicylindre, Appelé aussi répartiteur. Il a pour fonction de fournir, à chaque cylindre, la quantité d'air nécessaire à une combustion complète du carburant.

Le rôle du collecteur d'admission est de répartir l'air admis dans le moteur sur la totalité des cylindres pour réaliser une combustion totale du carburant dans chacun d'eux.

Le rôle du collecteur est la sortie des gaz brulis à l'extérieur de chambre de combustion [4].



Figure 5 : Collecteurs d'échappement [4]

II.2.3.2 Organes mobiles

II.2.3.2.1 Le Piston

Un piston est un élément cylindrique pouvant se déplacer en va-et-vient dans un cylindre, ce mouvement génère un déplacement de gaz ou une variation de pression de ce gaz, qu'on appelle compression, dans les machines où le piston a une forme cylindrique, le piston est relié au vilebrequin par une bielle ou tige de piston. Le piston est entouré de segments de piston assurant une bonne étanchéité entre les deux côtés [4]



Figure 6 : Le Piston [4]

II.2.3.2.2 La Bielle :

La bielle est l'organe de liaison entre le piston et le vilebrequin. Il s'agit d'une tige forgée qui doit être aussi légère mais en même temps aussi solide que possible [4]

La bielle comporte trois parties :

- **Le pied :**
 - C'est la liaison entre la bielle et le piston.
 - il est percé et alésé en cas d'axe serré dans la bielle.
 - Il est percé et alésé avec un bague en bronze en cas d'axe libre dans la bielle; la bague est alors percé pour assurer la lubrification de l'axe

- **La tête :**
 - C'est la liaison avec le vilebrequin (manetons).
 - Elle comporte 2 parties : l'une solidaire du cor" la tête ".l'autre rapportée: " le chapeau ", ce dernier est fixé par des boulons à écrous autos erreurs.

- **Le corps :**
 - Il assure la rigidité de la pièce.
 - Il est généralement de section en forme de I, croissant du pied vers la tête [5]

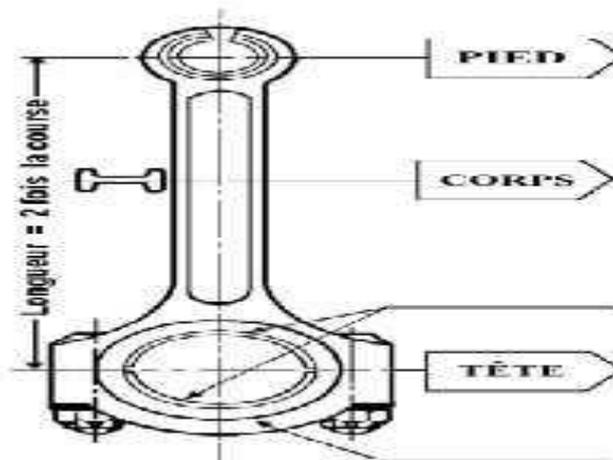


Figure 7 : La Bielle [4]

II.2.3.2.3 Le Vilebrequin

Un vilebrequin est un axe excentrique qui convertit un mouvement rectiligne en un mouvement rotatif. Il constitue un élément essentiel des moteurs à essence, moteurs Diesel et autres moteurs à combustion. Il en existe de nombreuses formes et tailles selon le constructeur et le nombre de cylindres [4]

- **Rôle :**
 - Il reçoit l'effort transmis par les pistons et les bielles et fournit un mouvement circulaire en sortie du moteur.
 - Il entraîne en rotation certains accessoires (ex: pompe à huile, distributeur d'allumage etc...).
- **Il est fabriqué :**
 - soit par FORGEAGE (acier mi-dur au chrome).

- soit par CAMBRAGE et MATRIÇAGE d'une barre d'acier.
- soit par MOULAGE, en fonte [5]



Figure 8 : Vilebrequin [4]

II.2.3.2.4 Le volant moteur :

Le volant moteur est une masse d'inertie servant à régulariser la rotation du vilebrequin. Le volant a également d'autres fonctions secondaires.

- il porte la couronne de lancement du démarreur.
 - il porte le système d'embrayage et possède une surface d'appui pour le disque.
 - il porte parfois le repère de calage d'allumage ou le déclenchement du repère P.M.H [1].
- **Description :**
 - Afin d'augmenter le moment d'inertie, on éloigne les masses le plus possible de l'axe. Disposition qui conduit à un voile mince et une jante massive.
 - La forme du vilebrequin dépend du nombre de cylindres, sachant que l'on cherche
- ❖ Remarque : Toujours à répartir régulièrement les explosions sur la durée d'un cycle, plus le nombre de cylindre est élevé, meilleure est la régularité cyclique



Figure 9 : Le Volant moteur [4]

II.2.3.2.5 Soupapes et l'arbre à cames :

Une soupape est un organe mécanique de la distribution des moteurs thermiques à quatre temps, permettant l'admission des gaz frais et l'évacuation des gaz brûlés. De manière générale, une soupape d'admission sépare le conduit d'admission de la chambre de combustion, et une soupape d'échappement sépare celle-ci du conduit d'échappement. [1]



Figure 10 : La Soupapes et l'arbre à came [4]

- **Le Principe fonctionnement :**

Un moteur diesel fonctionne différemment d'un moteur à essence. Même si leurs principaux organes sont semblables et s'ils respectent le même cycle à quatre temps. Un moteur diesel et un moteur à explosion présentent des différences sensibles, en particulier dans la façon dont le mélange est enflammé et la manière dont la puissance délivrée est régulée. Dans un moteur à essence, le mélange carburé est enflammé par une étincelle électrique. Dans un moteur diesel, l'allumage est obtenu par une auto inflammation du gazole à la suite de l'échauffement de l'air sous l'effet de la compression. Un rapport volumétrique normal est de l'ordre de 1/ 20 pour un moteur diesel (alors qu'il est de 1/10 pour un moteur à essence). Un tel taux de compression porte la température de l'air dans le cylindre à plus de 450°C. Cette température étant celle de l'auto inflammation du gazole, celui-ci s'enflamme spontanément au contact de l'air sans qu'il y ait besoin d'une étincelle, et par conséquent, sans système d'allumage. Un moteur diesel aspire toujours la même masse d'air à régime égal par un conduit de section constante dans lequel seule s'interpose la soupape d'admission il n'y a donc ni carburateur ni papillon.

A la fin de la phase d'admission, la soupape d'admission se ferme, puis le piston, soumis à l'inertie de l'ensemble vilebrequin-volant moteur, remonte vers le haut du cylindre en comprimant l'air dans environ 1/20 de son volume initial, c'est à la fin de cette phase de compression qu'une quantité précisément dosée de carburant est injectée dans la chambre de combustion, en raison de la température élevée de l'air comprimé, ce carburant s'enflamme immédiatement et les gaz chauds, en se dilatant, repoussent le piston avec force, quand le piston remonte dans le cylindre, lors de la phase d'échappement, les gaz brûlés sortent par la soupape d'échappement. A la fin de la phase d'échappement, le cylindre est prêt à admettre une nouvelle charge d'air frais afin que le cycle complet recommence [5].

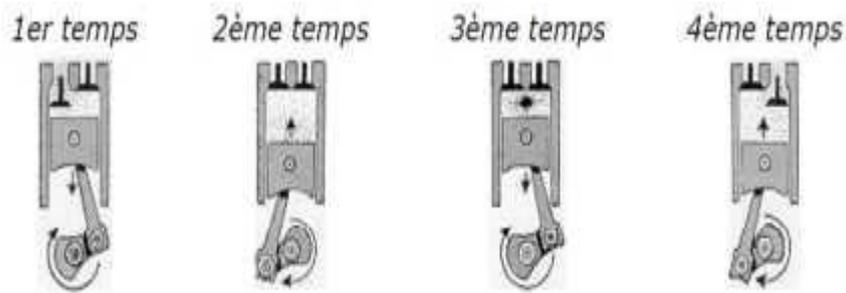


Figure 11 : Principe de fonctionnement d'un moteur [4]

II.3 Configurations des moteurs :

On dispose de moteurs monocylindriques tels que les moteurs expérimentaux, marins, les moteurs entraînant des génératrices, des pompes ou compresseurs. On trouve aussi des moteurs poly cylindriques avec 2 cylindres jusqu'à 8, 12 ou 24 cylindres avec différentes configurations (en ligne, en V ou bien en W). [7]

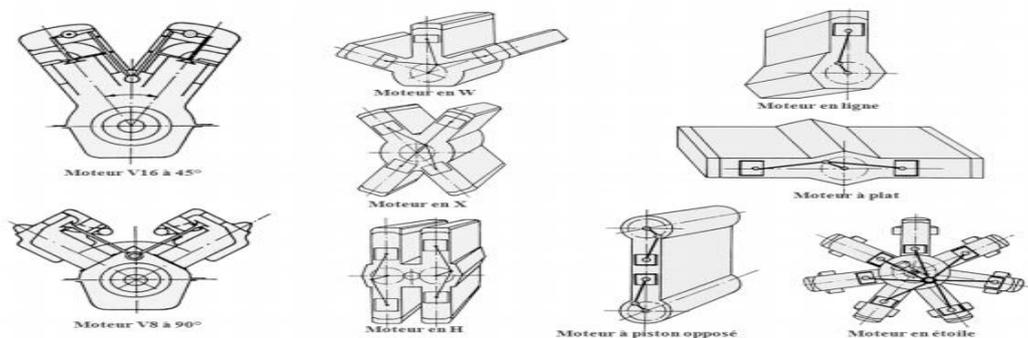


Figure 12 : Disposition des cylindres [7]

II.3.1 Moteur en ligne :

Le moteur en ligne est ce qui se fait le plus dans le monde de l'automobile, et c'est sûrement celui qui équipe votre auto. Les cylindres sont alignés sur un même axe et bougent du bas vers le haut. [7]



Figure 13: Moteur en ligne [7]

- **Voici ce que l'on peut relever du côté des plus :**
 - Mécanique plus simple donc plus économe à la fabrication
 - Consommation généralement plus efficiente (réduite) sur un moteur en ligne
 - large qu'un moteur en V, mais plus long.
 - Placé transversalement cela libère un maximum de place pour l'habitabilité
- **Du côté des inconvénients :**
 - Ce type de moteur prend plus d'espace (en longueur, pas en largeur) sous la capot moteur car les cylindres sont plus "étalés", il faut donc une plus grande surface. Une structure en V permet donc d'empiler les cylindres dans un plus petit volume, ou plutôt dans un volume plus homogène.
 - Masses internes moins équilibrées que sur un moteur en V. Sur un moteur en ligne il faut généralement un système de contrepoids interne que l'on appelle arbre d'équilibrage. Cependant, il faut préciser que le problème n'existe quasiment plus sur les 6 cylindres en ligne, qui bénéficie alors d'un meilleur équilibrage grâce à la multiplication des masses en mouvement. [7]

- **Exemple d'utilisation :**

Les moteurs en ligne utilisant à toutes les marques.

II.3.2 Moteur en V :

Le moteur en V a deux lignes côte à côte au lieu d'une seule ligne. Sa forme a donné lieu à son nom : le V.



Figure 14: Moteur en v [7]

- **Avantages du moteur en V :**

- L'équilibrage des masses mobiles est meilleure, les vibrations sont donc plus facilement maîtrisables par les ingénieurs.
- Centre de gravité assez réduit quand l'ouverture du V est importante (si on arrivait à 180 degrés, le moteur serait alors plat)
- Plus court qu'un moteur en ligne

- **Les inconvénients :**

- Plus cher et plus complexe, ce type de moteur revient donc plus cher à l'achat et à l'entretien.
- Notamment au niveau de la distribution qui doit alors synchroniser deux lignes (sur un moteur en V) au lieu d'une seule.
- Consommation qui peut être légèrement supérieure
- Quand l'angle du V est réduit cela n'aide pas à réduire le centre de gravité
- Plus large qu'un moteur en ligne

- **Exemple d'utilisation :**

En généralement les moteurs en V montés sur des motocyclettes.

- Moteurs Ducati d'angle 90°.
- Moteurs de Moto Guzzi d'angle 90°.
- Moteurs Harley-Davidson et Buell d'angle 45°.

II.3.3 Moteur en W :

Les moteurs en W, connus principalement en 12 cylindres (W12) est une sorte de moteur en V doublé. Au final la forme ressemble à un W mais ce n'est pas exactement ça. [7]

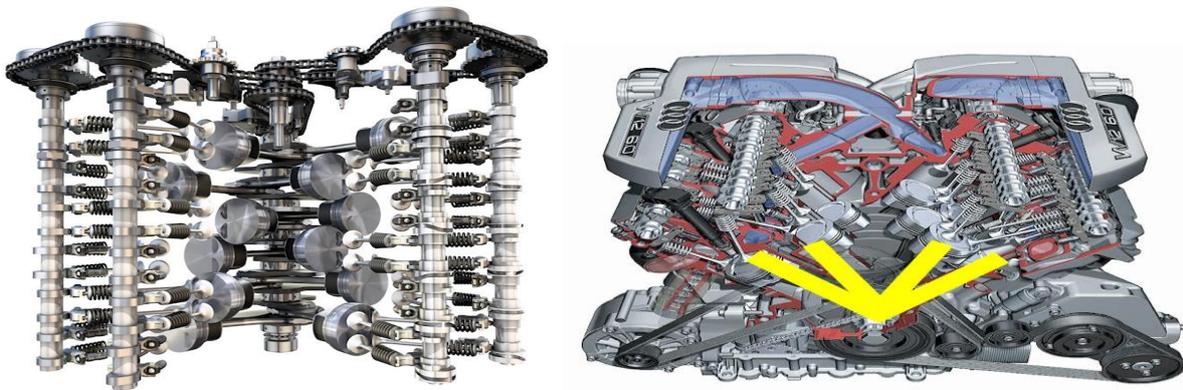


Figure 15: Moteur en W [7]

- **Les Avantages :**

- Réduction de longueur comparée à un moteur en V de cylindrée équivalente
- Vilebrequin plus court
- Couple accru comparé à un moteur V12 de même cylindrée.

- **Les inconvénients :**

- Moteur plus large
- Complexité des culasses, coût élevé

- **Exemple d'utilisation :**

- Les moteurs W12 (12 cylindre).
- Les moteurs Bugatti Veyron 16.4 et son W16 (de 16 cylindres).

II.3.4 Moteur à plat :

Dans le cas d'un moteur à plat, les pistons fonctionnent cette fois-ci horizontalement (de manière opposée) et non plus de haut en bas. De plus, la moitié des pistons va dans un sens et l'autre dans une direction opposée. Il existe deux types de moteur à plat : le Boxer et le moteur en V à 180°. [7]

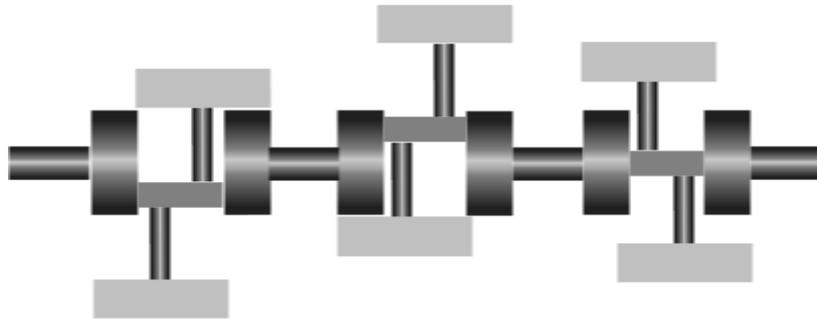


Figure 16: un Flat 6, l'équivalent d'un V6 à plat (180°) [7]

- **Exemple :**

Voici un moteur Boxer, la différence se situe principalement au niveau des fixations des bielles de piston. Notez pour votre culture que c'est le nom Boxer qui a servi à Porsche pour nommer la Boxster (qui a un moteur Boxer donc ...)

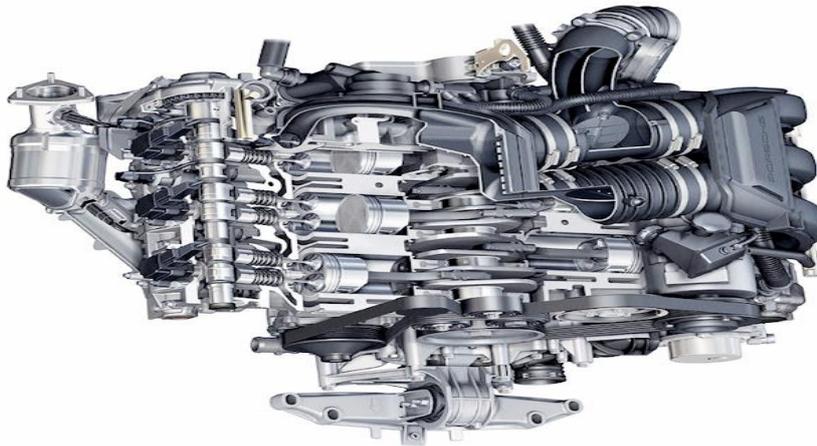


Figure 17: un Boxer de Porsche Boxster [7]

- Notamment utilisé par Porsche et Subaru, ce type de structure se révèle très rare sur le marché de l'auto.

- **Les avantages :**
 - L'avantage de cette mécanique est généralement de proposer un centre de gravité plus bas. En effet, le moteur étant plat et placé le plus bas possible, cela réduit la hauteur du centre de gravité.
 - Equilibrage plutôt bon du moteur car les masses bougent dans des directions opposées.

- **Les inconvénients :**
 - Les frais d'entretien et réparations peuvent être plus élevés car ce moteur est plus atypique (donc moins connus des mécanos)

II.3.5 Moteur en étoile :

Ce moteur fournit une très grande puissance, ce que nécessite justement un avion. Aujourd'hui, ce type de moteur est surtout utilisé dans les avions à hélices, sur les avions, il est très important que le moteur puisse être refroidi directement.

Voici ce à quoi il ressemble pour votre culture générale :

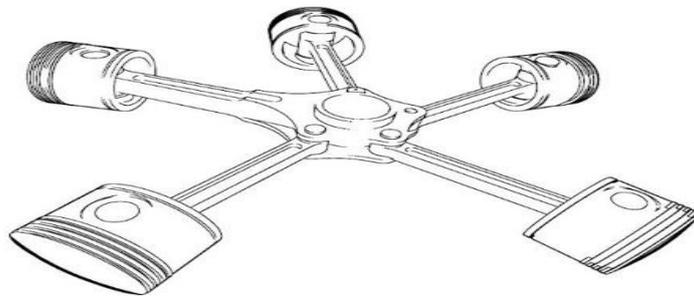


Figure 18: Moteur en étoile [7]

II.4 Principales différences entre le moteur à essence et le moteur diesel

On peut distinguer deux types de moteurs, le moteur à allumage commandé et le moteur à allumage par compression. Le moteur à essence et le moteur diesel font partie de la même famille de machines thermiques. [8]

II.4.1 Classification des deux moteurs :

II.4.1.1 Les moteurs à explosion (à essence):

Le moteur d'essence est un moteur à allumage commandé qui utilise l'essence comme un carburant, très improprement appelé « moteur à explosion ». [8]

- La combustion du mélange air / essence est amorcée par l'étincelle d'une bougie d'allumage
- Système d'allumage commandé
- Le mélange air / essence peut s'effectuer par: Carburateur, Injection directe d'essence

II.4.1.2 Les moteurs à combustion (Diesel) :

Le moteur diesel appelé également moteur à allumage par compression est un moteur à combustion interne dont l'allumage est spontané lors de l'injection du carburant, par phénomène d'auto-inflammation lié à la température élevée dans la chambre de combustion. Celles-ci sont atteintes grâce à un fort taux de compression (rapport volumétrique de 14 à 25), permettant d'obtenir une température de 700 à 900 °C. [8]

- La combustion est déclenchée par l'injection du gazole sous pression dans de l'air fortement comprimé.
- Le mélange s'enflamme par auto inflammation, c'est-à-dire spontanément

II.4.2 Cycle théorique de Beau de Rochas (4temps):

Les quatre phases de fonctionnement du moteur ont été définies dès 1862 par Beau de Rochas:

- **Admission:** aspiration d'air ou de mélange air / essence
- **Compression** de l'air ou du mélange
- **Inflammation** rapide et détente du piston
- **Echappement** des gaz brûlés

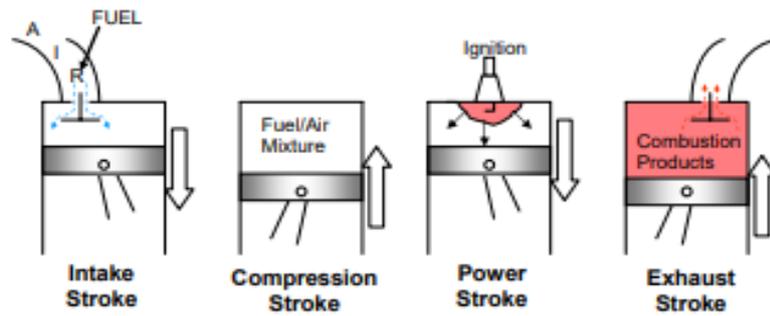


Figure 19: Les quatre phases de fonctionnements [8]

1. Les **moteurs à quatre temps** réalisent le cycle en quatre courses de piston et deux tours de vilebrequin
2. Les **moteurs à deux temps** réalisent le cycle en deux courses de pistons et un tour de vilebrequin
3. Les **moteurs rotatifs**: le mouvement alternatif rectiligne est remplacé par la rotation d'un rotor qui réalise le cycle trois fois par tour

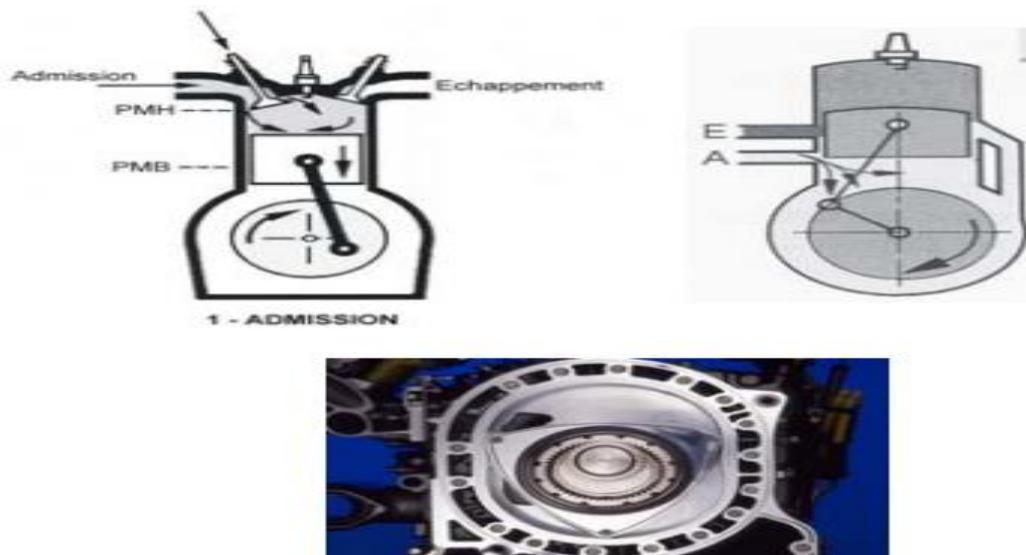


Figure 20: La Classification des moteurs [8]

II.4.3 Le moteur à essence et le moteur diesel :

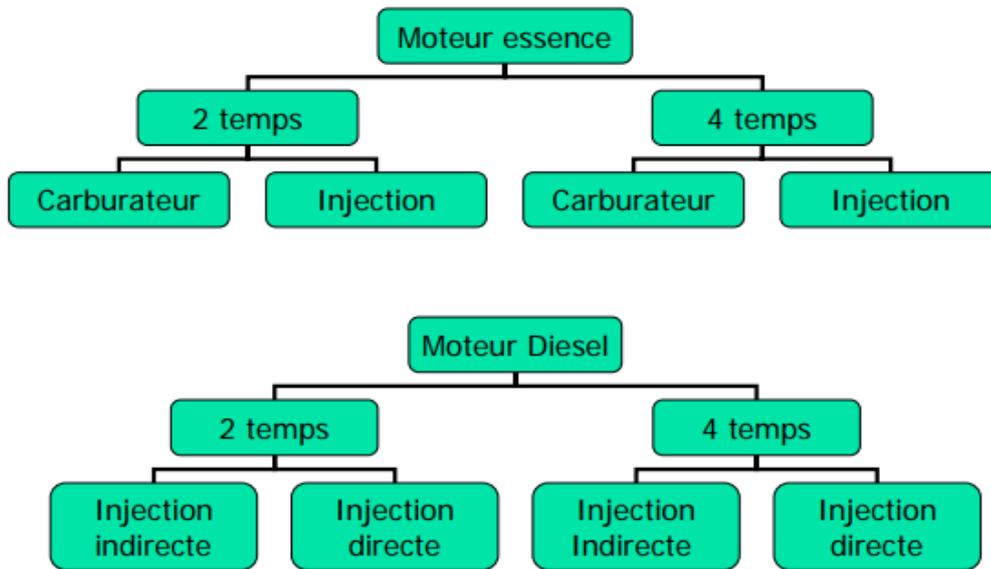


Figure 21: Moteur essence et moteur diesel [8]

II.4.3.1 Moteurs à 4 temps: essence

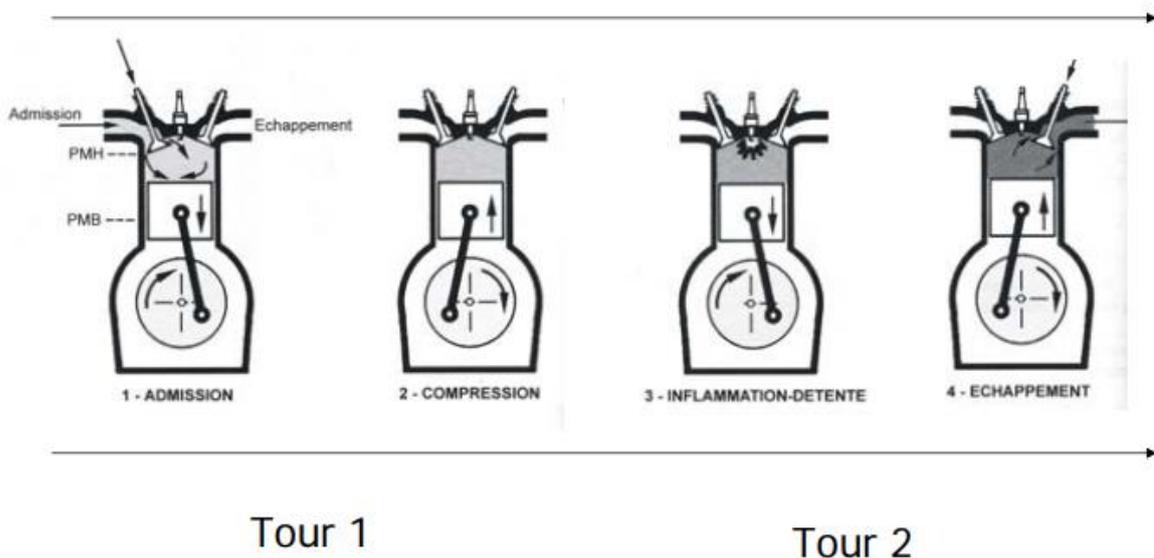


Figure 22: Moteurs à 4 temps

- Temps 1:** le mélange air/essence est introduit dans le cylindre par la soupape d'admission
- Temps 2:** le mélange est comprimé

3. **Temps 3:** La combustion du mélange (grosso modo à volume constant) survient et la détente des gaz de combustion produit un travail.
4. **Temps 4:** Les gaz sont expulsés du cylindre par la soupape d'échappement

II.4.3.1.1 Diagramme pression volume pour le moteur 4 temps « essence » :

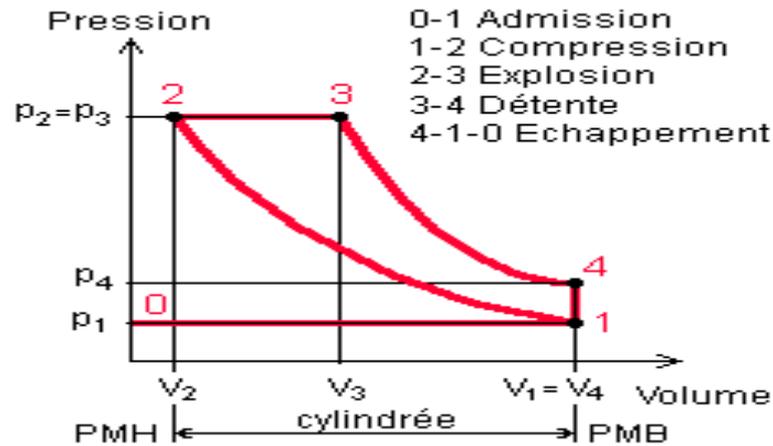


Figure 23: Cycle théorique de Beau de Rochas pour un moteur à 4 temps

Représentation théorique de cycle de beau de Rochas :

- 1-2 : Une compression adiabatique ($Q_{BC}=0$).
- 2-3 : Une transformation isochore ($V=cts$).
- 3-4 : Une détente adiabatique ($Q_{DE}=0$).
- 4-1-0 : Une transformation isochore ($V=cts$).

II.4.3.2 Moteurs à 4 temps: diesel

1. **Temps 1:** l'air (seul) est introduit dans le cylindre par la soupape d'admission
2. **Temps 2:** l'air est comprimé
3. **Temps 3:** le carburant est injecté et la combustion du mélange (grosso modo à pression constante) survient. La détente des gaz de combustion produit un travail.
4. **Temps 4:** Les gaz sont expulsés du cylindre par la soupape d'échappement

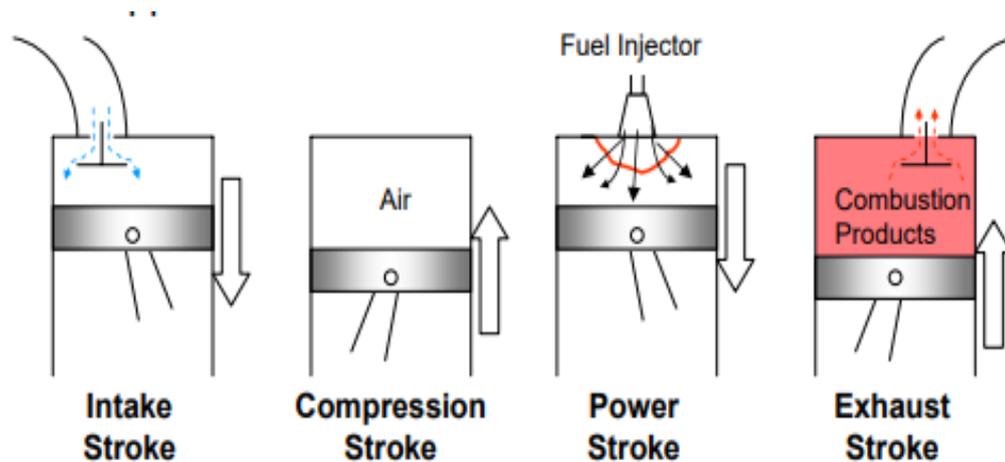
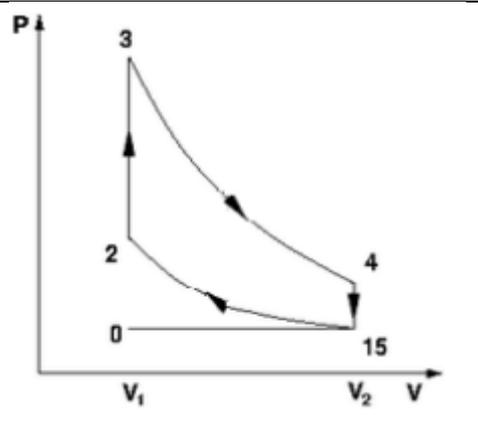
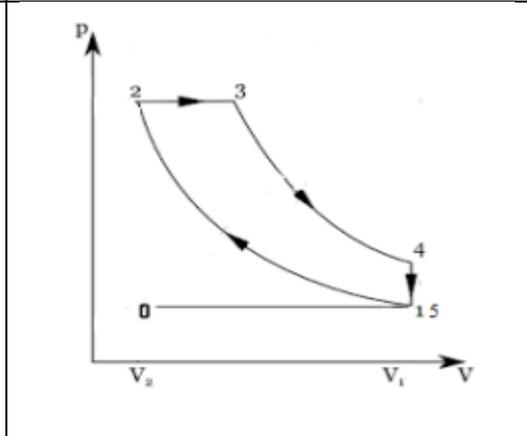


Figure 24: Les quatre phases de fonctionnements [8]

II.4.4 Principales différences entre le moteur à essence et le moteur diesel :

| Paramètres | Moteurs à Essence | Moteurs Diesel |
|------------------------------|---|--|
| Désignation | Moteur à allumage commandé par bougie | Moteur à allumage par compression |
| Carburant | Fractions légères d'hydrocarbures Octane C_8H_{18} , Gasoline C_8H_{17} | Fractions lourdes d'hydrocarbures Dodécane $C_{12}H_{26}$, heptane C_7H_{16} |
| Carburant | A l'extérieur par carburateur, Par injection indirecte monopoint ou multipoints. A l'intérieur par injection directe. | A l'intérieur par injection directe. |
| Allumage | Explosion d'une charge homogène | Auto-inflammation d'une charge hétérogène |
| Cylindrée (cm ³) | 800, 1000, 1100, 1200, 1400, 1600, 1800 | 1500, 1600, 1800, 1900, 2000, 2200,... |
| Piston | Plat | Creux |

| Formation | Quantitative | Qualitative |
|---------------------------|---|--|
| Taux de compression | Faible entre 1 et 10 | Elevé entre 15 et 23 |
| Turbulence A | Limiter à cause de l'étincelle | A favoriser pour la préparation de la charge |
| Corps d'admission | Carburateur ou Papillon motorisé + Starter pour démarrage à froid | Système d'injection avec pompe à injection ou injecteur pompe. |
| Cycle théorique | Otto, Beau de Rochas | Cycle Diesel |
| Coefficient d'excès d'air | Entre 0,6 et 1,3 | > 1 |
| Flamme | Pré-mélange | Diffusion |
| |  |  |
| Combustion | A volume constant | A pression constante |

| | | |
|--------------------------------|--|---|
| Puissance | Varie en fonction de la masse de la charge introduite dans le cylindre | Varie en fonction de la masse de carburant injectée dans la chambre de combustion |
| Rendement thermique | Fonction du taux de compression | Fonction du taux de compression et du taux d'introduction |
| Pression en fin de compression | Varie avec la variation de la masse introduite (10~15 bar) | Ne varie pas (moteur atmosphérique) (20~30 bar) |

Tableau 1: Les différences entre le moteur à essence et le moteur diesel

Remarque :

Le cycle Otto ne s'approprie pas au moteur diesel car il conduit à des taux de compression excessivement élevés et à une combustion incomplète et donc à un mauvais rendement thermique.

II.4.5 Essence et diesel : avantages et inconvénients :

| Types de moteur | Les avantages | Les inconvénients |
|-------------------|---|--|
| Le moteur essence | La facilité d'utilisation et de maintenance de ce type de moteur explique également son succès. Aussi, ces moteurs ne sont pas délicats et fonctionnent sans problème avec divers carburants. | La combustion entraîne le rejet de gaz potentiellement polluants (CO₂, HC, CO, NO₂). Les moteurs à explosion utilisent généralement un carburant d'origine fossile. Cette source d'énergie n'est pas renouvelable, donc son prix ne va cesser d'augmenter. |

| | | |
|------------------|--|--|
| | <p>Le moteur essence est relativement plus silencieux qu'un moteur diesel.</p> <p>Le moteur à allumage commandé est plus vif lorsqu'il est froid par rapport à un moteur diesel, car l'allumage se fait par l'intermédiaire d'une bougie.</p> <p>Le démarrage à froid est meilleur pour un moteur à explosion essence.</p> <p>Une voiture essence neuve est moins chère à l'achat qu'une voiture diesel neuve (environ 10%).</p> | |
| Le moteur diesel | <p>Meilleur rendement grâce à l'augmentation du rapport volumétrique, la combustion est plus complète et la consommation spécifique est réduite.</p> <p>Le couple moteur est plus important et il reste sensiblement constant pour les faibles vitesses.</p> <p>Le combustible employé coûte moins cher.</p> | <p>Les organes mécaniques doivent être surdimensionnés.</p> <p>Le bruit de fonctionnement est élevé.</p> <p>La température dans les chambres de combustion est élevée ce qui implique un refroidissement plus efficace.</p> <p>L'amplitude au démarrage à froid est moins bonne qu'un moteur à allumage commandé</p> |

| | | |
|--|---|--|
| | <p>Les risques d'incendie sont moindres car le point d'inflammation du gazole est plus élevé que celui de l'essence</p> | |
|--|---|--|

Tableau 2: Essence et diesel, avantages et inconvénients

II.4.5.1 Moteur GPL :

II.4.5.1.1 Définition moteur GPL :

Ce mélange de gaz butane et propane à parts égales, ayant un indice d'octane élevé, possède des propriétés proches de celles de l'essence. Malgré un pouvoir calorifique supérieur à la même masse d'essence, le moteur alimenté en GPL devient plus gourmand et légèrement moins tonique, sauf s'il s'agit d'une injection GPL en phase liquide. L'agrément de conduite, la souplesse du moteur et l'économie supérieure à l'essence compensent toutefois cette légère perte de puissance maximale (2 à 5%). [9]

Techniquement, on distingue aujourd'hui 2 principaux modes d'alimentation au GPL par injection :

- **En phase gazeuse** : c'est le mode le plus ancien et celui le plus souvent utilisé pour les kits de conversion en bicarburation GPL.
- **En phase liquide** : mode utilisé généralement par les constructeurs pour leurs modèles bicarburation GPL d'origine. Plus performant que le premier, le GPL en phase liquide existe également au niveau des kits d'adaptation GPL des moteurs à essence aussi bien en injection indirecte que directe (Marques Vialle LPI ou LPDI ou Prinz Direct VSI ou Liqui Max).

En bref, un moteur GPL est un moteur à essence capable de fonctionner automatiquement avec l'un ou l'autre de ses 2 carburants selon leur disponibilité respective. [9]



Figure 25: GPL injecteur installé dans le moteur à essence [9]

- ***Les avantages moteurs GPL***

- Composants GPL en première monte sur de nombreuses marques de constructeurs automobile.
- Norme Européenne de sécurité ECE 67-01 pour les composants GPL.
- Zéro émission de particules polluantes.

- ***Les inconvénients moteurs GPL***

- Consommation + 30 % par rapport à celle d'un véhicule essence.
- Baisse de la performance de - 5% comparé à celles de l'essence.
- La roue de secours se substitue au réservoir de GPL.(sauf si on monte une citerne)

Conclusion:

Dans le premier chapitre, nous avons cherché sur les moteurs thermiques et leurs différents types et donc réalisé le principe de fonctionnement et les avantages et les inconvénients et la consommation de chaque type.

A la fin on a obtenu comme idée que Le moteur à combustion interne est une machine thermique qui convertit l'énergie chimique du combustible en énergie mécanique, généralement sous forme d'un mouvement rotatif d'un arbre.

REFERENCE:

- [1] G Mai llard, Technologie de l'automobile, juin 1986.
- [4] Moteurs à combustion description, Constructive, Bruxelles, 2012
- [5] Les organes de moteur, Technologie automobile, Académie de Nancy-Metz, 2008.
- [6] R. Baroudi, Etude des moteurs thermiques, Mémoires de Master, Université de Tlemcen 2014.
- [8] Veille Industrie automobile, Syst_prop_electriqu, 3MOTCOMINTERNE

Site web:

- [2] [http:// tpe-lefonctionnement-desmoteurs.fr](http://tpe-lefonctionnement-desmoteurs.fr)
- [3] [http:// ac-nancy-metz.fr/](http://ac-nancy-metz.fr/)
- [7] <http://.fiches-auto.fr/>
- [9] <http://achat-voiture.ooreka.fr/>
- [10] <http://blogs.caradisiac.com/>

Chapitre II

Le BLOC MOTEUR

I. INTRODUCTION :

On commence ce deuxième chapitre par donner l'histoire et la description du bloc-moteur et ses dans lequel on va détailler les différents types de réalisation.

Nous allons voir le rôle, les fonctions principales et secondaires du bloc moteur au niveau du système.

Après l'explication des matériaux et les différents types de fabrication ainsi que leur techniques de réalisation chaque type.

En fin, on va faire l'inspection des défauts pour préparer à la réparation.

II. IDENTIFICATION DU BLOC MOTEUR :

II.1 Histoire

Le premier moteur 4-cylindres monobloc (quatre cylindres fondus en un seul bloc) est monté en 1899 dans la voiture de course révolutionnaire construite par Amédée Bollée fils, « Le Torpilleur ». La première voiture construite en grande série équipée d'un 4-cylindres monobloc sera la Ford Model T de 1908. [1]

II.2 Description du bloc moteur :

Le bloc-moteur, constitue le bâti d'un moteur à pistons dont la partie intérieure est usinée pour former les cylindres ou les logements de chemises, s'il s'agit d'un moteur à chemises rapportées. L'eau de refroidissement circule librement à l'intérieur du carter-moteur. La partie supérieure du bloc est dressée pour former le plan de joint pour la culasse, qui vient coiffer les cylindres. [2]

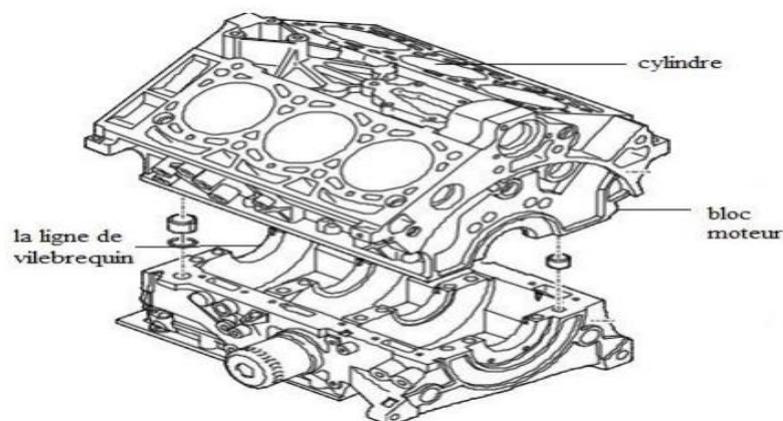


Figure 26: Schéma d'ensemble Bloc-cylindres [2]

II.3 Constitution du bloc cylindre :

- Les alésages ou fûts prévus pour recevoir les chemises du bloc cylindre.
- Les lignes d'arbre du vilebrequin.
- Les canalisations pour graissage.
- Les chambres d'eau.
- Les lignes l'arbre à cames.
- Un support pour fixation au châssis.
- Un support pour démarreur.
- Des places pour l'allumeur, le filtre d'huile, la pompe à eau, la pompe à huile, la pompe à essence, la pompe d'injection (pour le diesel)... etc [2]

II.4 Le rôle du bloc moteur au niveau du système :

Le bloc-moteur est une pièce maîtresse du véhicule, le bloc est coiffé par la culasse et sa partie basse est fermée par le carter d'huile permettant la lubrification de toutes les pièces en mouvement. C'est sur le bloc que la plupart des pièces nécessaires au fonctionnement du moteur sont fixées. Il subit de fortes contraintes (température, frottements). Il détermine la puissance du moteur par sa cylindrée, la vitesse maximum de rotation du vilebrequin, elle-même résultante de la course (bielles - pistons). [2]

III. Les fonctions du bloc moteur au niveau du système :

III.1 Fonctions principales :

Le bloc-moteur, appelé également carter-cylindres, est la pièce maîtresse du moteur. Ses fonctions principales sont les suivantes :

1. contenir les cylindres.
2. supporter le vilebrequin, la culasse, les accessoires...
3. servir de support à l'huile de lubrification.
4. servir de support à l'eau de refroidissement (si un tel système de refroidissement est utilisé).

Pour assurer ces fonctions, le bloc-moteur doit :

- être rigide (sinon risque de bruits, problèmes d'étanchéité ou de pertes mécaniques)
- avoir une conductivité thermique suffisant [3]

III.2 Fonctions secondaires :

Dans le moteur, le bloc-cylindres supporte la pompe à huile, la pompe à eau, l'alternateur, souvent le démarreur et le filtre à huile. Enfin, au niveau du véhicule, il doit:

1. Assurer la liaison avec la boîte de vitesses.
2. Assurer la suspension élastique du moteur par rapport à la structure du véhicule.
3. Permettre le montage d'accessoires prévus en série ou en option :
 - pompe d'assistance de direction.
 - compresseur de climatisation, etc.

III.3 Fonctions de contrainte :

1. Masse.
2. Température.
3. Frottement.
4. Fiabilité.
5. Standardisation, pérennité des moyens industriels [3]

IV. Différents types de réalisation

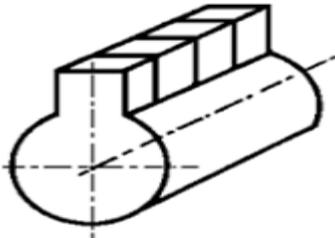
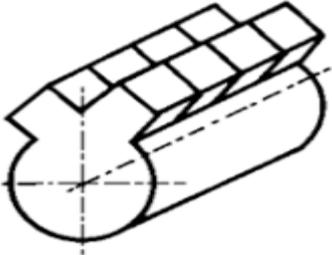
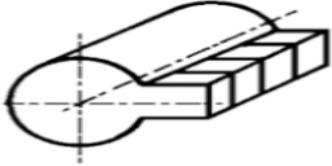
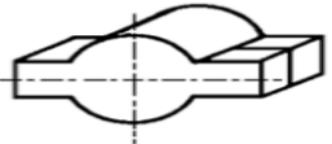
| Désignation | Schémas | Exemple |
|---|---|---|
| <p>Moteur en ligne Longitudinal ou transversal (inclinaison possible).</p> |  | <p>Toute Marques</p> |
| <p>Moteur en V Cylindres répartis en deux groupes égaux suivant deux plans convergents. Angle 60° 90° ou autre.</p> |  | <p>Mercedes, Peugeot, Renault, Volvo, etc.</p> |
| <p>Moteur en ligne à plat</p> |  | <p>Véhicules en transport commun</p> |
| <p>Moteur à plat en opposition</p> |  | <p>Citroën, Alfa Romeo, Volkswagen, Porsche</p> |

Tableau 3: Différents types de réalisation

V. LE CHEMISAGE D'UN BLOC NON CHEMISE D'ORIGINE:**V.1 Chemisage**

Le chemisage ou re-chemisage permet de remettre à neuf les cylindres d'un moteur par l'insertion de chemises neuves. Cela permet de conserver la cote standard du cylindre et donc les pistons en cote d'origine quand ils sont en bon état. Il faut cependant toujours changer les segments. Cette opération permet aussi de "sauver" 1 ou plusieurs cylindres endommagés sur un bloc. Le re-chemisage n'est que le remplacement de chemises usées d'un bloc "chemisé d'origine". [4]



Figure 27 : Le chemisage du bloc cylindre [4]

V.1.1 Bloc sans chemises :

Dans un bloc sans chemises, les cylindres sont moulés directement dans une pièce, en général en fonte. Le bloc et le cylindre ne font alors qu'un ; on parle souvent de bloc à alésage direct. En cas d'usure des cylindres, il est nécessaire de réaliser à une cote supérieure et d'adapter des pistons de plus fort diamètre. [5]

V.1.1.1 Bloc avec chemises :

En vue de réduire l'usure des parois de cylindres, il est souvent fait appel à des chemises particulièrement résistantes, placées dans les alésages des cylindres, c'est un tube détachable du cylindre. Usinée avant montage dans de l'acier ou de la fonte plus résistante à l'usure que le

matériau du bloc-cylindres, la chemise est coulée par centrifugation sur des chantiers automatisés (carrousel de centrifugation).

Il existe deux sortes de chemises, les chemises sèches et les chemises humides. Les premières font "corps" avec le bloc moteur (aluminium ou fonte) alors que les secondes permettent le passage du liquide de refroidissement entre la matière du bloc et la chemise elle-même. [5]

V.1.2 Chemises sèches

Les blocs avec chemises sèches sont en fonte ou en aluminium. Dans le cas d'un bloc en fonte, les chemises pourront être remplacées après une usure importante. Dans le cas d'un bloc en aluminium, les chemises sèches seront mise en place à la fabrication du bloc et pourront donc être réalésées mais pas changées. Dans les deux cas le bloc comportera les chambres d'eau ou les ailettes nécessaires au refroidissement du moteur. Lorsqu'elles sont incorporées à la coulée dans l'aluminium (par procédé de type AL-FIN) les chemises sèches ne sont pas remplaçables, mais il existe quantité de moteurs en aluminium dont les chemises sèches sont amovibles. La chemise étant simplement frettée (insérée dans le cylindre ayant été dilaté par la chaleur), elle est donc remplaçable, cela se fait avec de l'azote liquide. Dans un moteur à 2 temps ou moteur sans soupapes, la chemise comporte les orifices d'admission et d'échappement. [5]

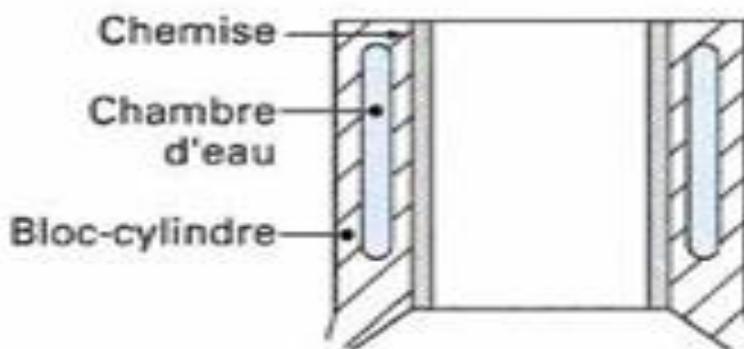


Figure 28: Chemise sèches [5]

V.1.3 Chemises humides

Pour un bloc avec chemises humides, les chemises, installées dans un carter creux, seront maintenues pour la partie supérieure, par la culasse, et pour la partie inférieure par le carter lui-même, avec une étanchéité sur la partie basse. L'avantage de ce principe est le remplacement facilité des chemises. Les moteurs à refroidissement liquide des années 1920 recevaient des

chemises humides en acier vissées dans le bloc en aluminium préalablement chauffé dans un bain d'huile.

Le remplacement des chemises s'avère cependant parfois extrêmement délicat devant la difficulté à extraire les chemises. Réalésage ou re-chemisage : c'est l'usinage des chemises qui a pour effet, en agrandissant très légèrement leur diamètre, de faire disparaître leur ovalisation due à l'usure, les rayures dues à un défaut de lubrification, ou pour augmenter la cylindrée du moteur. Cette opération entraîne le montage d'autres pistons et segments neufs adaptés au nouveau diamètre. [5]

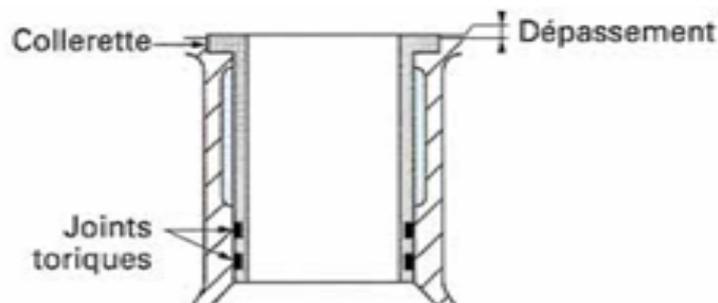


Figure 29: chemises humides

VI. MATERIEAUX UTILISES DU BLOC MOTEUR

Les alliages utilisés pour le bloc-moteur (Aluminium, Fonte, Magnésium)

VI.1 Bloc-moteur en aluminium:

L'alliage d'aluminium AlSi9Cu3(Fe) est majoritairement utilisé pour les blocs réalisés en fonderie sous pression. [6]

- Les avantages cet alliage :

- Bénéficier d'un approvisionnement mondial et d'un prix de matière première réduit.
- L'aluminium offre une meilleure conductibilité thermique que la fonte et facilite la fabrication de pièces de précision (near-net-shape) aux formes complexes intégrant les supports d'organes auxiliaires, les passages d'eau et conduites d'huile.
- Coulés dans le même métal que les culasses, les blocs aluminium évitent de plus des coefficients de dilatation différents au niveau des joints de culasse.

VI.2 Bloc-moteur en fonte :

Les blocs-moteur en fonte utilisent généralement la fonte à graphite lamellaire (FGL), mais aussi dans certains cas la fonte à graphite vermiculaire. [6]

- Les avantages de ce type de bloc, on peut noter :

- la bonne résistance mécanique de la pièce
- la bonne coulabilité du matériau
- le prix de revient intéressant
- l'émission de bruit moins importante que pour un carter en aluminium

VI.3 Bloc-moteur en magnésium

Il y a quelques développements de blocs- moteurs magnésium : tel un bloc de Corvette (Dow/Mg) coulé en sable en ZC 63 de MEL (avec traitement thermique T6) avec un gain de poids de 45 kg (par rapport à un bloc fonte). Ces applications (GM/Ford) ne concernent cependant généralement que des véhicules de niches. Notons également un exemple de bloc bi matériaux avec une zone interne en aluminium surmoulée par du magnésium. [6]

VII. Le remplacement des chemises en fonte sur les blocs aluminium :

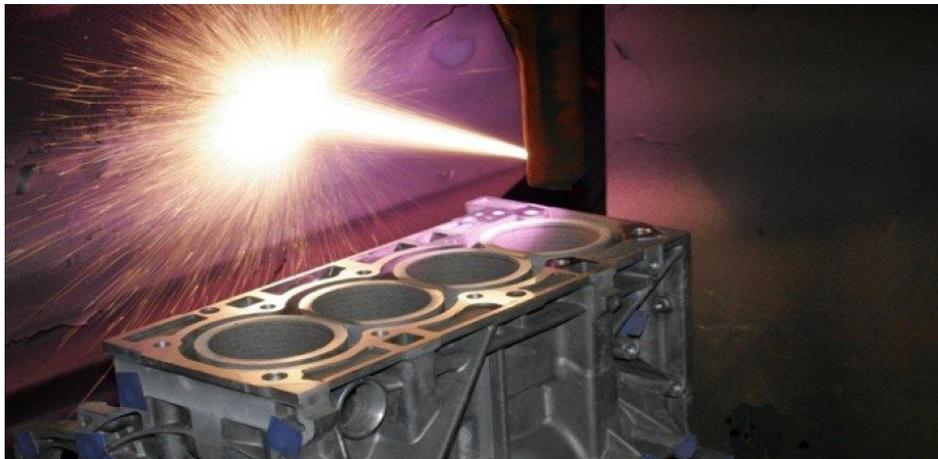


Figure 30: Revêtement plasma sur un bloc-moteur aluminium par une mini-torche tournante. [6]

De nombreuses études et projets visent le remplacement sur les blocs aluminium des chemises en fonte GS centrifugée par des revêtements ou traitements de surface (céramique, ...) pour des enjeux d'allègement supplémentaire des blocs. En effet, sur un bloc de 16.5 kg, les chemises en fonte représentent 2.5 kg, soit 15 % du poids du bloc.

Différentes pistes ont été explorées par les constructeurs : l'utilisation d'alliage hypersialie (AlSi17Cu4Mg), l'utilisation de CMM (Composite à Matrice Métallique) aluminium/SiC, des dépôts superficiels de Ni renforcé de SiC, des dépôts galvaniques (Ni), de la projection par arc fil, de la projection par arc soufflé ou une nitruration sous plasma haute pression. La projection plasma sur cylindre aluminium usiné par une mini-torche tournante (200 tr/min) permet de déposer par exemple 200 μm d'un revêtement dur de type Fe₂O₃ (450 HV) qui nécessite un rodage ultérieur en plusieurs étapes (comme sur un bloc-moteur fonte). [6]

VIII. La diminution des blocs fonte et l'avenir du bloc moteur avec l'arrivée des véhicules électriques

Depuis plusieurs années déjà, on note une diminution mondiale et constante des blocs en fonte qui suit la diminution de part de marché du Diesel et le gain de masse apporté par l'aluminium. La fonte conserve cependant encore une part de marché (bloc très sollicité thermiquement, recherche du plus bas prix, constructeurs nord-américains, ...). Sur les véhicules hybrides (propulsion thermique et électrique), le bloc-moteur a encore toute sa place. Il est clair cependant que si dans le futur (20 à 30 ans), pour des raisons techniques (autonomie augmentée), économique (prix de vente au même niveau qu'un véhicule thermique et prix des carburants fossiles en très forte hausse) ou réglementaires (politique incitative en faveur des véhicules électriques), les véhicules électriques trustaient le marché, la production de blocs-moteur thermiques tendrait à diminuer de manière conséquente. [6]

IX. Procédé de fabrication d'un bloc moteur :

Les blocs moteurs sont en aluminium (le plus courant) ou en fonte. Les blocs fonte sont fabriqués en moulage sable alors que les blocs aluminium sont majoritairement réalisés en fonderie sous pression. D'autres technologies existent cependant pour les blocs aluminium (Disamatic, core package, lost foam, basse pression, ...).

Les blocs aluminium sont partout en croissance (pour des raisons d'allègement du GMP) au détriment de la fonte, qui conserve néanmoins une part de marché (bloc très sollicité thermiquement, recherche du plus bas prix, constructeurs nord-américains, ...). [7]

- *Le moulage en sable :*

Utilise un matériau réfractaire et qui se présente sous la forme de petits grains ; on peut donc lui donner la forme que l'on veut, et figer cette forme avec un additif. Cela en fait un matériau de choix pour la conception de moules ; cependant, c'est un moule à usage unique, mais que l'on peut fabriquer facilement de manière répétée. [8]



Figure 31: Le moulage sable d'un bloc moteur [8]

- *La technologie de fonderie sous pression :*

La fonderie sous pression permet de réaliser des pièces near-net-shape en grande série à des coûts relativement contenus et bénéficie d'une très forte automatisation des chantiers de production. Elle est dédiée à la transformation des pièces en alliages non ferreux (aluminium, zinc, cuivreux, magnésium, ...) pour divers marchés (automobile, électroménager, bâtiment, ...). L'essor mondial de l'automobile a largement contribué à l'augmentation continue du tonnage des alliages d'aluminium injectés. [8]



Figure 32: Un bloc moteur en fonderie [8]

IX.1 Technique de fabrication par moulage en sable :

Avant les blocs moteurs étaient en acier, aujourd'hui sont surtout fabriqués dans un alliage d'aluminium léger pour améliorer le rendement énergétiques.

Le bloc moteur est une pièce d'un seul tenant coulé dans un moule au sable, pour fabriquer ce moule on mélange de la colle et l'adoucisseur avec du sable du zircon, qui peut supporter la chaleur intense du métal en fusion mais seulement pour un moulage unique.

Chaque moule est constitué de plusieurs sections par les noyaux destinés à être assemblé, pour les fabriquer en mélange le sable et de colle dans un grand moule en acier.

On y injecte un gaz qui active l'adoucisseur et sollicite le mélange, c'est le noyau de base ou quel seront fixé les autres noyaux, le noyau de base est posé dans une chaîne d'assemblage pour recevoir les autres noyaux. Le noyau suivant servira à mouler l'alésage des cylindres du bloc moteur qui accueilleront les pistons du moteur. Un robot insère les chemisages en acier les six orifices du noyau, c'est l'empêchement des alésages d'être abîmé par l'abrasion.

Dix-sept noyaux vont se greffer sur le noyau de talc ceux qui sont partis du bloc moteur en contact avec lui à la poudre de talc cela empêche les particules de sable de coller à la limite d'aluminium puis se mélange à l'huile. On dépose de la colle dans les noyaux afin qu'il reste en place lorsque les robots les renversent et soient assemblés. Le moule est maintenant complet, le collage peut commencer.

Des lingots d'aluminium sont chargés dans un godet d'élévateur. Les lingots donc en fusion fonctionnent par le « Auto gaz ». La décharge des lingots est dans un feu de 1000°C qui va va liquéfier l'aluminium. Juste avant le collage, les cylindres sont chauffés à l'aide d'un courant électrique à haute fréquence, les moules sont remplis par le bas pour le métal qu'il ne soit pas contaminé par l'oxyde d'aluminium, cet oxyde se forme lorsque l'aluminium en fusion est en contact avec l'air.

Après le collage les moules restent six heures dans un four thermique de récupération qui détruit la colle à façon de tomber le sable. La chaleur touche également le métal. Le bloc moteur apparaît enfin prêt pour quelque finition, un robot fait à le détacher.

Les 6 sections des masselottes sont des sections de métal dans le moule pour condenser causé par la salification d'aluminium liquide, et puis les outils d'usinage qui sont guidés par un ordinateur possèdent dégrossissage du métal, le bloc moteur est quasiment dans l'état final.

Chaque bloc moteur dans une usine passe par un système de visualisation automatique qui inspecte le moteur pour ne pas tomber en panne tout de suite. [8]

X. Détection des Défauts

X.1 Contrôle du bloc cylindre

X.1.1 Vérification de l'alésage des cylindres

On Examine soigneusement la surface des cylindres, S'il y a seulement de petites traces ou rayures, Les polir. Utilise une très fine toile émeri enroulée sur une cale. S'assurer que le jeu du piston dans l'alésage ne dépasse pas 0.15mm.

NOTE : Pour un neuf, le jeu du piston dans l'alésage, mesuré à angle droit de l'axe et à 27,5mm du bas de la jupe est compris entre 0,03 et 0,05 mm, Prendre le diamètre du cylindre en 3 point, en longueur et en largeur. Si l'usure est ovale, il doit être réparé comme suit.

Si le métal à enlever ne dépasse pas 0,15 mm, un rodage suffira, S'il excède 0,15 mm le bloc cylindre doit être rectifié.

Le cylindres ne doivent pas être réalésés au-delà de 0,6 mm ; L'alésage doivent être refaits en fonction des pistons disponibles (0,2 ; 0,4 ; 06 mm) et respecter un jeu de 0,03 à 0,05 mm entre le piston et le cylindre ; Comme montré, des lettres sont gravées sur le dessous du bloc cylindres à l'opposé de chaque cylindre pour indiquer son diamètre. Ceci fait que l'alésage réel peut varier de 86,40 à 86,45 mm et les alésages cylindres à l'opposé de chaque cylindre pour indiquer son diamètre. Ceci fait que l'alésage réel peut varier de 86,40 à 86,45 mm et les alésages sont classés par 0,01 mm. [9]

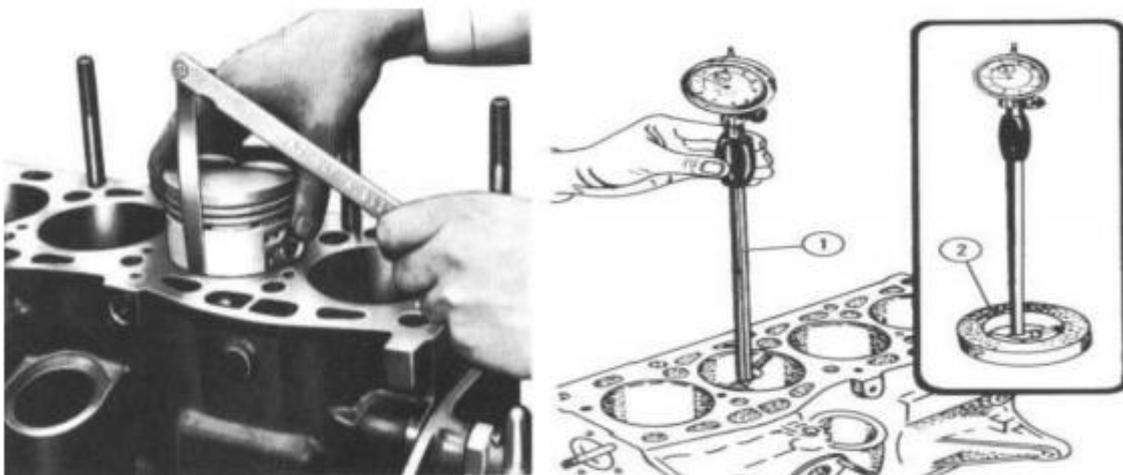


Figure 33: Vérification de l'alésage des cylindres [9]

X.1.2 Vérification de surface du joint :

Le plan du joint de culasse sur le bloc moteur peut commencer à se déformer.

En utilisant une plaque plane revêtue de noir de fumée, vérifiez les endroits où le métal doit être enlevé pour obtenir une surface parfaitement de niveau, Le contrôle peut aussi être effectué avec une règle droite (1) et une jauge d'épaisseur (2).

La règle doit être placée en diagonale du plan de joint et mesurer au milieu, En cas de ré-surfage, faire attention d'enlever le moins Possible de métal [9]

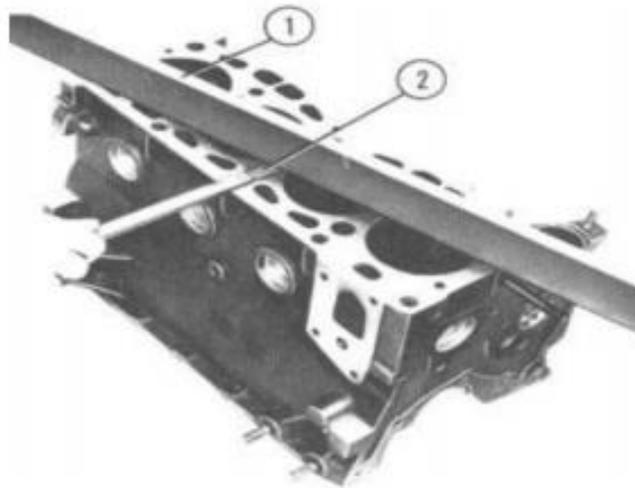


Figure 34: Vérification de surface du joint [9]

XI. LE COMPORTEMENT THERMOMECHANIQUE

Le bloc moteur est une pièce qui demande plus de rigidité et de solidité, et dans une problématique d'allègement du poids, on cherche toujours à avoir une faible masse. On exige aussi une bonne conductibilité thermique. Les matériaux en compétition pour cette application sont les fontes grises et les alliages d'aluminium de moulage. Les pistons eux-mêmes sont souvent en aluminium, bénéficiant de la bonne conductivité thermique. Quand on choisit une solution multi matériau (aluminium/fonte), il faut songer aux coefficients de dilatation différents entre les deux matériaux susceptibles d'introduire des jeux dans la mécanique.

Le bloc moteur est sollicité par les chargements **thermiques** et **mécaniques** suivants :

❖ *Les chargements thermiques :*

La chaleur élevée à laquelle est exposé le bloc moteur, nécessite l'emploi d'un circuit de refroidissement externe et interne afin de refroidir le bloc moteur, le refroidissement du moteur se fait à l'aide de la circulation à l'intérieur de ce même circuit d'un liquide de refroidissement. Ce liquide de refroidissement possède une température d'évaporation élevée (supérieure à celle de l'eau), il garde ses caractéristiques de refroidissement même aux températures élevées.

La température du liquide de refroidissement ne doit pas dépasser 80°C afin que le bloc moteur ne subira pas des déformations thermiques trop importantes.

Les températures auxquelles est exposé le bloc moteur sont :

- Température de la flamme
- Température d'admission
- Température Compression
- Température d'échappement

La température de liquide de refroidissement est de 80°C pour que bloc moteur doit résister à la chaleur.

❖ *Les chargements mécaniques :* Le bloc-cylindres remplit différentes fonctions, il est sollicité par :

- La gravité terrestre ou son poids.
- La pression appliquée dans chaque cylindre : sont les forces de pression appliquées sur les parois latérales de cylindre.
- La pression appliquée sur les 5 paliers.

Le bloc moteur remplit aussi d'autres différentes fonctions. Il doit résister à la pression des gaz de la combustion qui tendent à le dilater et pousser sur la culasse et aussi il doit guider le piston, d'où la nécessité de réduire le frottement et d'augmenter la résistance à l'usure. Il doit laisser circuler le liquide de refroidissement tout en résistant à la corrosion. il doit résister aussi à la vibration générée par l'explosion du mélange air-carburant à l'intérieur des cylindres. [10]

Conclusion:

Le bloc cylindre subit de fortes contraintes sous sollicitations thermiques (température) ou physiques (frottements). Il détermine la puissance du moteur par sa cylindrée, la vitesse maximum de rotation du vilebrequin, donc on distingue que c'est une pièce coiffée par la culasse et sa partie basse est fermée par le carter d'huile permettant la lubrification de toutes les pièces en mouvement. C'est sur le bloc que la plupart des pièces nécessaires au fonctionnement du moteur sont fixées.

Le choix de matériaux d'élaboration du bloc cylindre est un facteur principal pour le bon fonctionnement du moteur ainsi que les différents types de réalisation, il améliore les caractéristiques des fonctionnements pour être compatible à leur utilisation.

L'inspection du bloc cylindre donne une idée générale sur les défauts et facilite la méthode de réparation.

REFERENCE:

- [1] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Bloc-cylindres>
- [2] Les organes de moteur, Technologie automobile, Académie de Nancy-Metz, 2008.7
- [3] <http://mecaniquebook.blogspot.com/2016/01/le-bloc-moteur>
- [4] <http://www.rectif2000.com/realesage-chemise.html>
- [5] <https://www.carbon-cleaning.com/bloc-moteur>
- [6] <https://metalblog.ctif.com/2018/12/03/les-blocs-moteur-aluminium-et-fonte/>
- [7] Un bloc moteur, c'est fait comment métal blog 22 septembre 2016
- [8] <https://metalblog.ctif.com/>
- [9] Bloc moteur et Culasse. Fiche technique. 2008.
- [10] Paliers hydrodynamiques 2 : modèles thermo hydrodynamiques, calcul des paliers de moteur et de compresseur

CHAPITRE III

MODELISATION ET SIMULATION D'UN BLOC MOTEUR

I. INTRODUCTION

Ce troisième chapitre nous permet de réaliser la partie de la modélisation et simulation d'un bloc moteur.

Nous allons faire une étude du sujet de mon pratique et de sa mise en œuvre, d'abord nous commençons par la conception de la pièce bloc moteur par le logiciel (CATIA V5), et puis nous engageons avec un éditeur de logiciels spécialisé en simulation numérique qui est (ANSYS WORKBENCH 16.2) où on va faire le maillage fin avec l'application des conditions aux limites thermiques et mécaniques sur notre Bloc moteur, notre type de bloc moteur est de 2.2 litres. Pour des difficultés de conception, nous n'avons pas modélisé le circuit de passage de l'huile de lubrification dans le bloc moteur.

II. La modélisation du Bloc moteur :

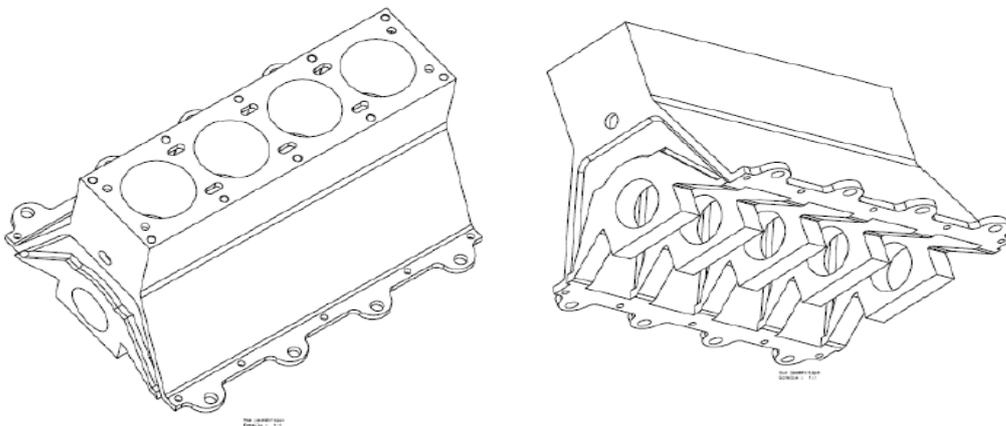


Figure 35 : La modélisation du bloc moteur à 4 temps

II.1 Simulation du Bloc moteur en ANSYS 16.2 R1 workbench :

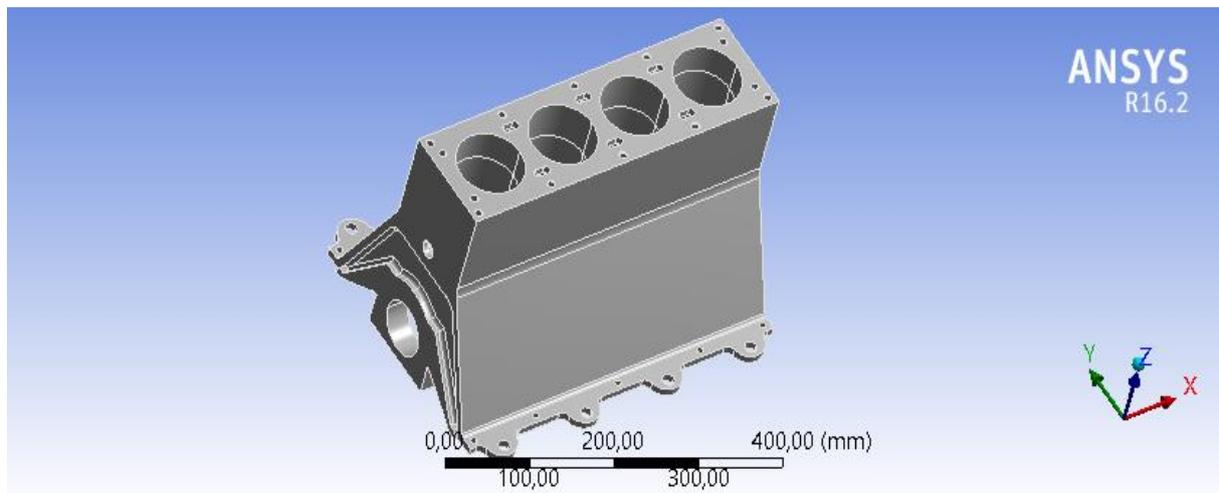


Figure 36 : Simulation du Bloc moteur en ANSYS R16.2 workbench

II.2 Dimensionnement et géométrie du Bloc moteur:

Voilà donc les dimensions qu'on a faites pour obtenir notre modèle bloc moteur à l'aide d'un logiciel (CATIA V5) :

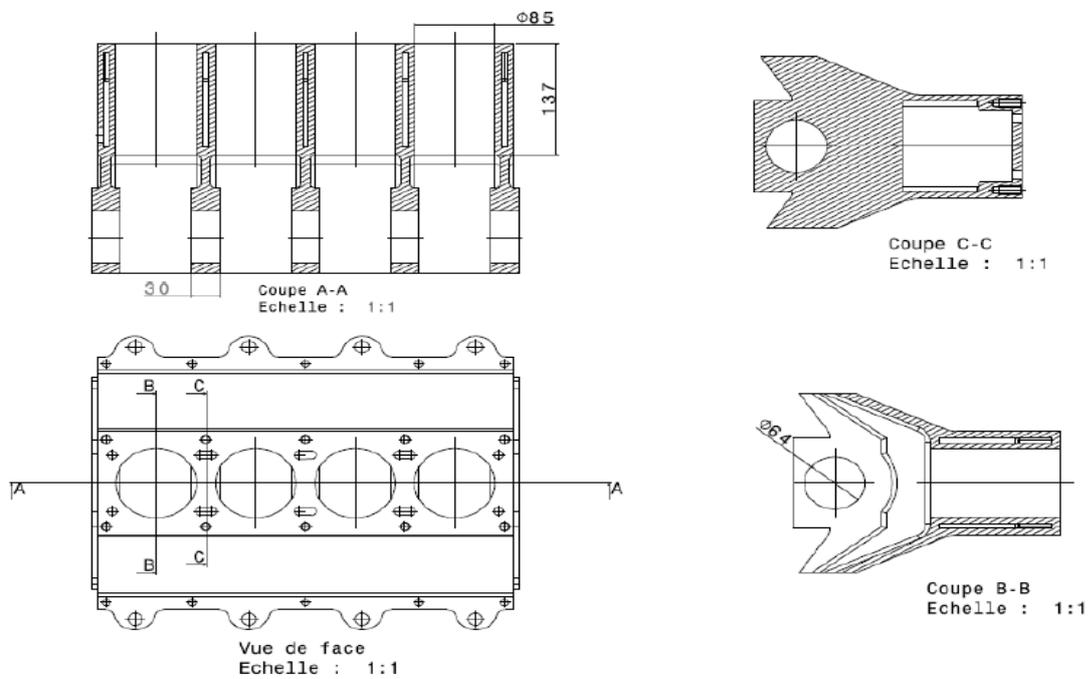


Figure 37 : Les dimensions du Bloc moteur (en mm)

II.3 Les différentes propriétés de matériau utilisé :

Les analyses structurales sous ANSYS demandent la connaissance des propriétés thermomécaniques suivantes de matériau:

- Le module d'élasticité,
- Le coefficient de Poisson,
- La densité (si des forces d'inertie sont envisagées),
- Le coefficient de dilatation thermique (si un chargement en température est appliqué),
- La conductivité thermique (uniquement dans le cas où les conditions de température sont non uniformes).

Le matériau est :

- Acier standard

| | Température (°C) | Acier standard |
|--|------------------|----------------|
| Module de Young E [Gpa] | 20 | 200 |
| | 2000 | 128 |
| Coefficient de Poisson ν | 20 | 0,3 |
| | 2000 | 0,3 |
| Masse volumique [kg/m³] | 20 | 7800 |
| | 2000 | 6500 |
| Coefficient de dilatation linéaire α (10⁻⁶ K⁻¹) | 20 | 12 |
| | 2000 | 24,8 |
| Conductivité thermique λ (W/mK) | 20 | 60,5 |
| | 2000 | 30 |
| Température de fusion Tf (°C) | | 1483 |
| Limite d'élasticité Re (MPa) | | 250 |

Tableau 4 : Les propriétés du matériau utilisé dans la simulation [1]

NB. Nous avons pris en compte dans nos calculs la variation des différentes propriétés thermiques et mécaniques de matériau en fonction de la température.

Nous avons également pris dans nos calculs une loi élastique pour le matériau « Acier standard » testé :

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \text{ élastique} \quad (1)$$

Avec :

σ : La contrainte mécanique (**MPa**).

E : Le module de Young (**MPa**)

ε : La déformation mécanique.

| | Acier standard |
|---|-----------------------------|
| Longueur suivant X | 450 mm |
| Longueur suivant Y | 360,44 mm |
| Longueur suivant Z | 282 mm |
| Masse | 51,309 kg |
| Volume | 6,5373e+006 mm ³ |
| Coordonné X du centre de gravité | 7,1527e-002 mm |
| Coordonné Y du centre de gravité | -4,2744e-005 mm |
| Coordonné Z du centre de gravité | -157,72 mm |

Tableau 5 : Les propriétés physiques pour l'étude

III. Maillage

Le maillage représente une étape cruciale dans la réalisation d'un calcul CFD. Pour les géométries complexes, le recours à un outil intégrant des algorithmes de maillage avancés peut s'avérer indispensable. Nous commençons réaliser simplement le maillage de géométries complexes en utilisant les récents développements d'ansys meshing. [2]

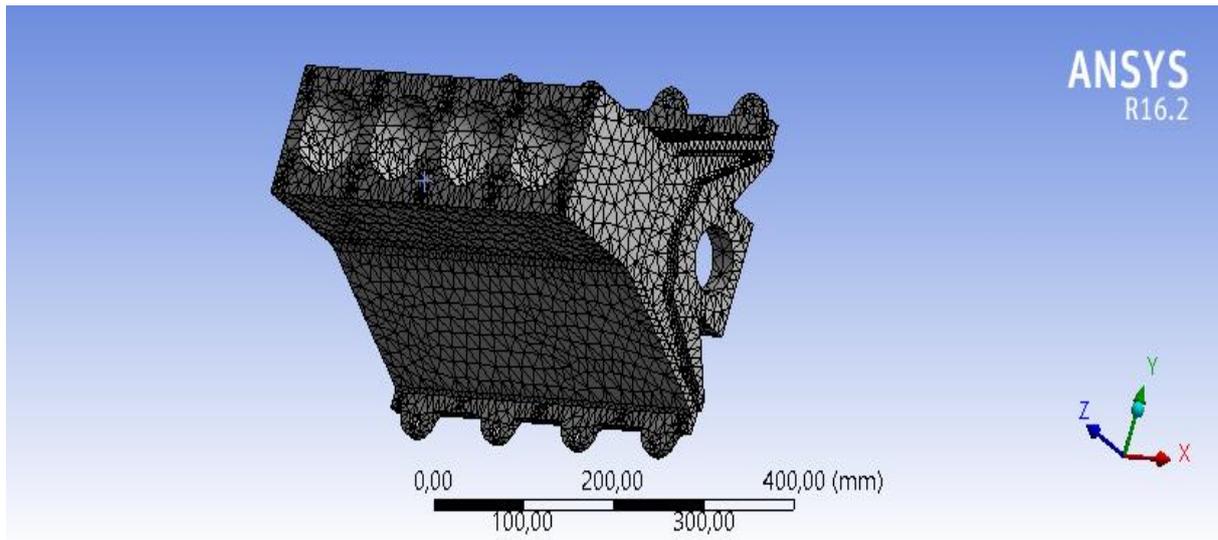


Figure 38 : Maillage fin tétra-hydrique quadratique du Bloc moteur

Où:

- Longueur d'arête minimale : 1,1372 mm
- Nombres de Nœuds : 98731
- Nombres d'éléments : 54680

III.1 Les éléments utilisés dans maillage « fin » :

Pour cette étude, l'élément tétra-hydrique quadratique était convenable avec une qualité de maillage.

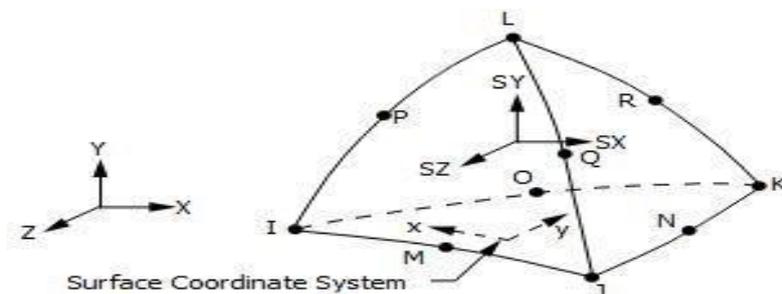


Figure 39 : Maillage tétra-hydrique quadratique du Bloc moteur

L'élément tétra-hydrique quadratique à dix (10) nœuds, Chaque nœud possède 6 degré de liberté (trois translations et trois rotations).

IV. Moteur a 4 temps 1324 :

Tout d'abord pourquoi est-ce un moteur 4 temps? Parce qu'un cycle se fait en deux allés/retours de piston. Le cycle se décompose en 4 étapes.

On a choisi ce principe parce que la pression de compression augmente et pour l'admission maximale d'air.

Les réactions se passent en ordre :

- Admission : La **1ère** réaction se passe dans le premier cylindre.
- Compression : la **2ème** réaction se passe dans le troisième cylindre.
- Détente/Explosion : la **3ème** réaction se passe dans le deuxième cylindre.
- Echappement : la **4ème** réaction se passe dans le quatrième cylindre.

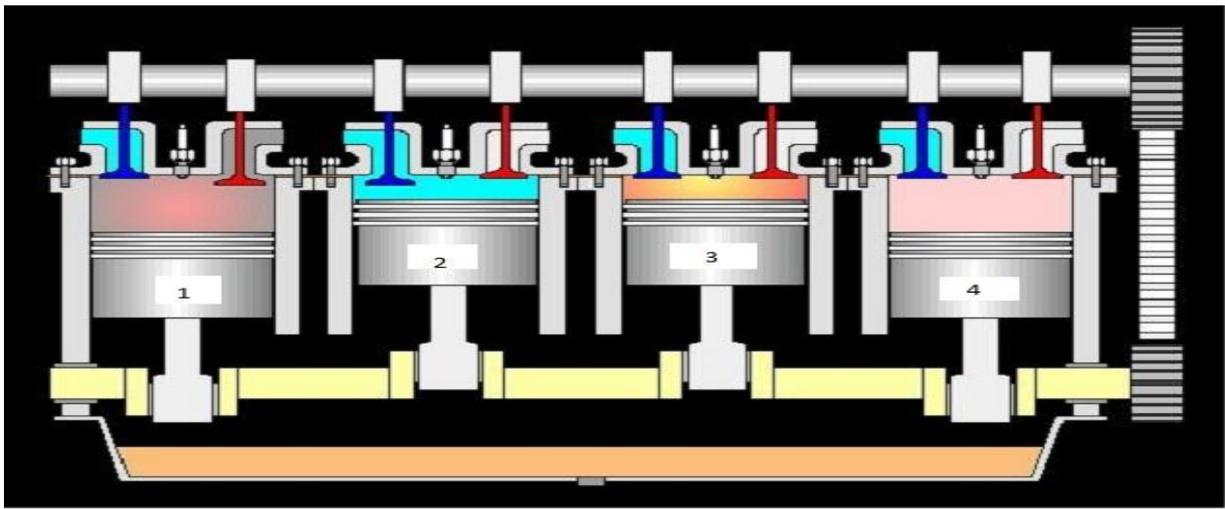


Figure 40 : Un moteur à 4 temps fonctionne selon le principe 1342

V. Procédure de calcul thermomécanique :

On suit les étapes suivantes :

1. Faire le calcul thermique pour la distribution de température dans le bloc moteur.
2. un calcul statique structural dans lequel les résultats de la température sont importés
3. un calcul thermomécanique est possible maintenant

V.1 Les conditions aux limites thermiques :

Dans les parois du cylindre dans notre modèle bloc moteur, on introduit les températures suivantes :

- Température de la combustion = 800°C
- Température d'admission = 80°C
- Température d'échappement = 700°C
- Température Compression = 340°C
- Température de liquide de refroidissement = 80°C

On prend la température initiale = 22°C

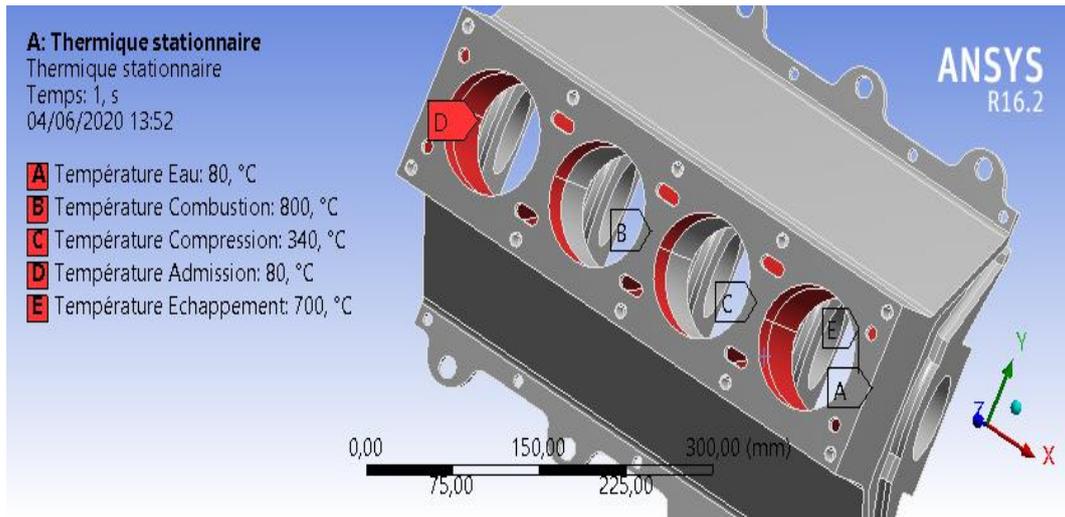


Figure 41 : Température de chaque cylindre (moteur à 4 temps

V.1.1 La zone de refroidissement :

Le bloc moteur contient une zone de circulation de liquide de refroidissement, la température de ce liquide de refroidissement est de 80°C, Son rôle essentiel est de refroidir le bloc moteur.

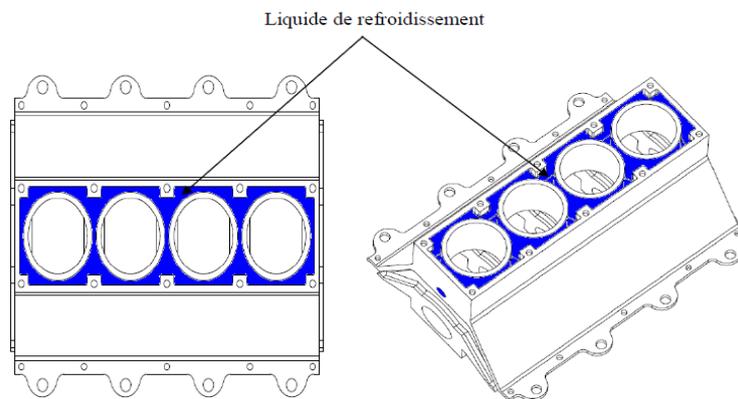


Figure 42 : la zone de refroidissement sur le bloc moteur

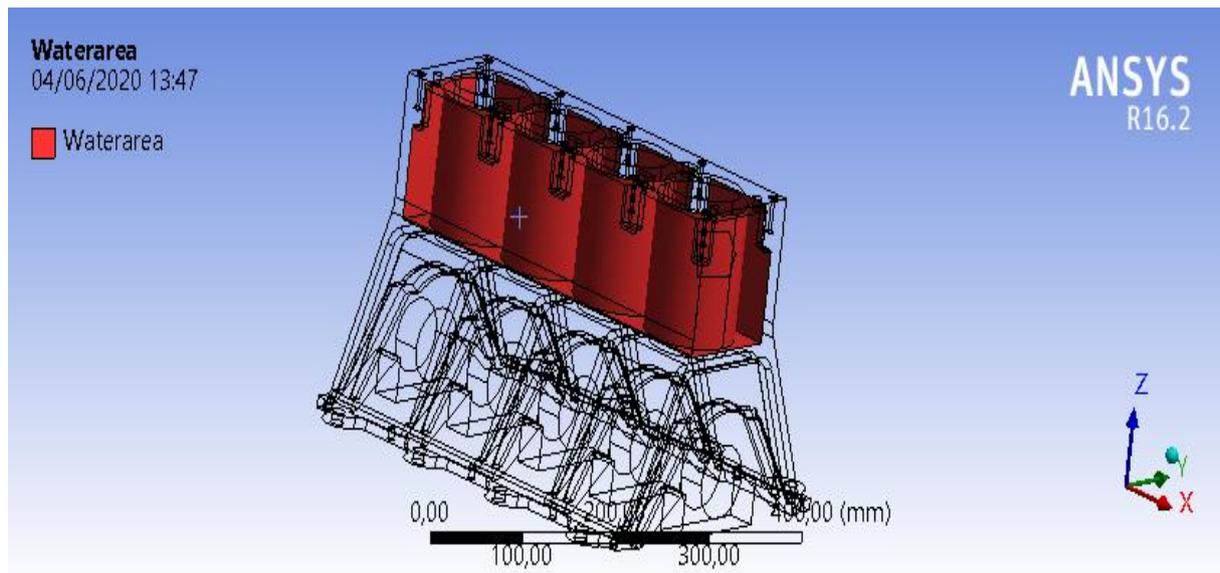


Figure 43 : Les surfaces exposées à la température de liquide de refroidissement

NB. La pression de liquide de refroidissement a été négligée.

| CARBURANT | ESSENCE OU GASOLINE ISO-OCTANE |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| TEMPERATURE D'ADMISSION (°C) | 80 |
| TEMPERATURE DE COMPRESSION (°C) | 340 |
| TEMPERATURE D'EXPLOSION (°C) | 800 |
| TEMPERATURE D'ECHAPPEMENT (°C) | 700 |

Tableau 6 : Les conditions thermiques moteur essence à CI (Température des 4 temps). [3]

V.1.2 Equation de la chaleur :

Dans le cas stationnaire l'équation de la chaleur s'écrit comme suit :

$$\Phi = \lambda * \Delta T \quad (2)$$

Dans le cas transitoire l'équation de la chaleur s'écrit :

$$\rho C_p \frac{\Delta T}{\Delta t} = \text{div}(\lambda \cdot \text{grad} T) + q \quad (3)$$

Φ : flux de chaleur (W/m).

C_p : est la capacité thermique massique à pression constante (J/kg.K).

ρ : est la masse volumique du matériau considéré (kg/m³).

λ : est la conductivité thermique du matériau (W/mK).

q : est le rapport de chaleur interne W/m³.

V.1.3 La dilatation thermique :

La dilatation thermique est utilisée pour calculer la déformation thermique pour une éprouvette d'une longueur L selon la formule suivante :

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T \quad (4)$$

$$\text{Implique que : } (\Delta L_{\text{ther}} / L) = \epsilon_{\text{thermique}} = \alpha \cdot \Delta T = \alpha \cdot (T_f - T_i) \quad (5)$$

Avec :

ΔL (mm): Dilatation due à une variation de température.

α (1/K): Coefficient de dilatation thermique.

L (mm) : Longueur caractéristique.

ΔT (K ou °C): Différence entre la température finale et la température initiale du matériau.

V.1.4 La déformation totale est donnée par :

$$\epsilon_{\text{totale}} = \epsilon_{\text{élastique}} + \epsilon_{\text{thermique}} \quad (6)$$

$$\Delta L_{\text{total}} = \Delta L_{\text{méc}} + \Delta L_{\text{ther}} \quad (7)$$

V.1.5 Formulation élément finis de l'équation de la chaleur :

$$[K_{\text{ther}}] \{T\} = \{Q\} \quad (8)$$

$[K_{\text{ther}}]$: La matrice de rigidité elle dépend de la géométrie et les propriétés thermiques du matériau.

$\{T\}$: Le vecteur de la température.

$\{Q\}$: Le vecteur du flux de chaleur.

V.2 Les conditions aux limites mécaniques :

V.2.1 Gravité terrestre :

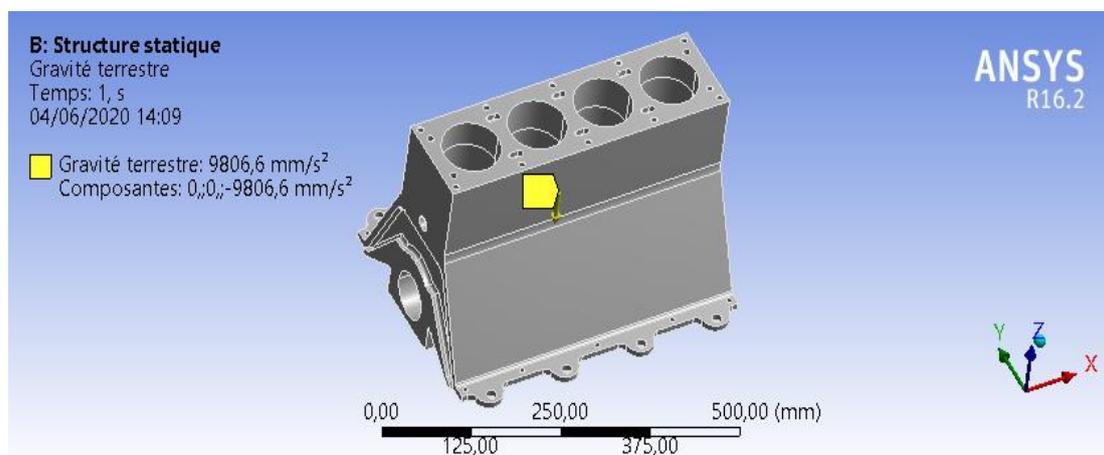


Figure 44 : gravité terrestre sur le bloc moteur

V.2.2 *Support fixe :*

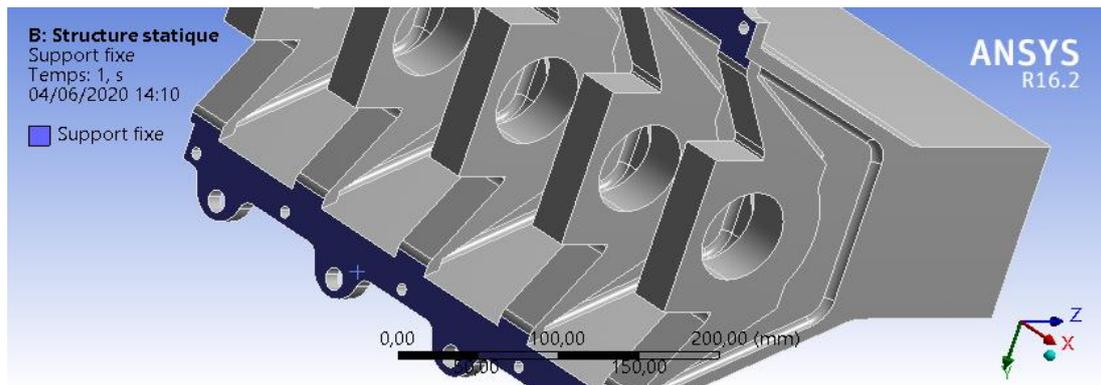


Figure 45 : Support fixe sur le bloc moteur.

| CARBURANT | ESSENCE OU GASOLINE ISO-OCTANE |
|-------------------------------|--------------------------------|
| PRESSION D'ADMISSION (MPa) | 0.1 |
| PRESSION DE COMPRESSION (MPa) | 1.2 |
| PRESSION D'EXPLOSION (MPa) | 3.5 |
| PRESSION D'ECHAPPEMENT (MPa) | 0.4 |

Tableau 7 : Les conditions mécanique moteur essence à CI [3]

V.2.3 *La pression appliquée dans chaque cylindre :*

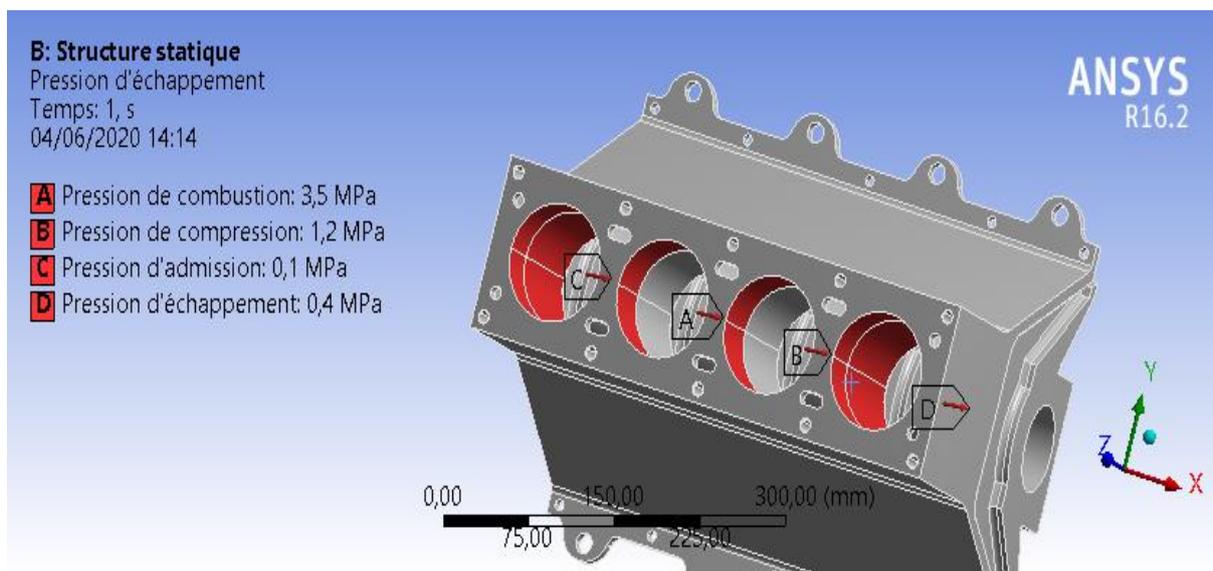


Figure 46 : Pression appliquée dans chaque cylindre

V.2.4 La pression appliquée sur les 5 paliers :
Calcul de la pression appliquée sur les 5 paliers :

Avec :

Diamètre cylindre $D_c = 85 \text{ mm}$

Pression d'explosion = 3,5 MPa

Diamètre palier $D = 64 \text{ mm}$

Epaisseur palier $e = 30 \text{ mm}$

$$P \text{ explosion} = (F \text{ explosion} / S \text{ cylindre}) \quad (9)$$

$$F \text{ explosion} = P \text{ explosion} * S \text{ cylindre} \quad (10)$$

$$S \text{ cylindre} = \Pi * R^2 = \Pi * (D_c/4)^2 \quad (11)$$

$$S \text{ cylindre} = \Pi * (85/2)^2$$

$$\mathbf{S \text{ cylindre} = 5671,625 \text{ mm}^2}$$

$$F \text{ explosion} = 3,5 * 5671,625$$

$$\mathbf{F \text{ explosion} = 19850,687 \text{ N}}$$

$$F \text{ palier} = (4 * F \text{ explosion}) / 5 \quad (12)$$

$$\mathbf{F \text{ palier} = 15880,55 \text{ N}}$$

$$\text{Demi Surface palier} = \Pi * R * e \quad (13)$$

$$\text{Demi Surface palier} = 3,14 * 32 * 30$$

$$\mathbf{\text{Demi Surface palier} = 3014,4 \text{ mm}^2}$$

$$P \text{ palier} = (F \text{ palier} / \text{Demi surface palier}) \quad (14)$$

$$P \text{ palier} = 15880,55 / 3014,4$$

$$\mathbf{P \text{ palier} = 5,26 \text{ MPa}}$$

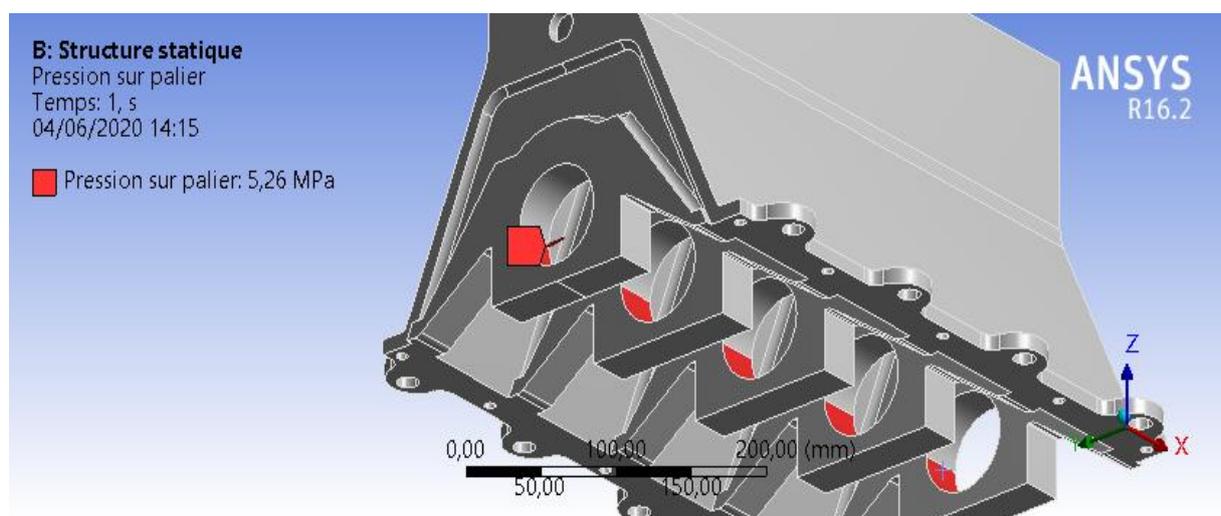


Figure 47 : La pression appliquée sur les 5 paliers.

V.3 Formulation élément finis de l'équation de la mécanique :

$$[K_{\text{méc}}] \{U\} = \{F\} \quad (15)$$

$[K_{\text{méc}}]$: La matrice de rigidité elle dépend de la géométrie et les propriétés mécanique du matériau

$\{U\}$: Le vecteur de déplacement.

$\{F\}$: Le vecteur de la force (déduit à partir des pressions)

V.4 Le taux de compression :

Le taux de compression, représente le nombre de fois où le mélange qui vient de remplir le cylindre est compressé dans la chambre de combustion: si le mélange est compressé 8 fois, l'on dira que le taux de compression est de 8/1. Pour calculer le taux de compression, utilise cette formule:

$$Tx = \frac{(V+v)}{v} \quad (16)$$

Tx = taux de compression par rapport à 1 (/1)

V = Cylindrée du moteur

v = Volume de la chambre de combustion

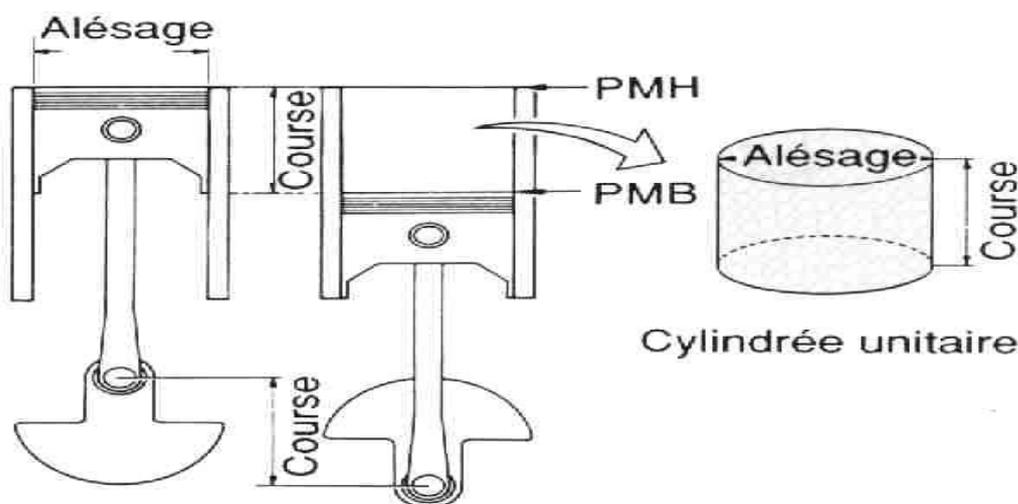


Figure 48: le volume défini entre le point mort haut (PMH) et le point mort bas (PMB) dans un cylindre.

- Le diamètre du cylindre est nommé alésage
- La distance comprise entre le PMH et le PMB est la course.

Remarques:

C'est la géométrie du vilebrequin qui définit la course : $C = \text{rayon de manivelle} \times 2$.

Course et alésage s'expriment en général en mm, la cylindrée en cm^3 parfois en litres. [4]

$$V = \frac{\pi \times A^2}{4} \times C \quad (17)$$

REFERENCES :

[1] : Métaux et alliages, matériaux magnétiques et multi matériaux www.techniques-ingenieur.fr)

[2] : resource library <https://www.ansys.com/fr>

[3] : J.Chagette, Technique d'automobile, le moteur, Ed Dunod, 1977.

[4] : « Le moteur thermique » BTS MAVVA / <http://l.21-bal.com/>

CHAPITRE IV

Résultat de l'analyse

I. Introduction :

L'étude thermomécanique de notre « bloc moteur » a permis de réaliser une analyse structurelle. L'essai de ce matériau « Acier standard » selon ses propriétés dans le but d'obtenir des résultats convenables dans les conditions de températures et pressions. L'analyse thermique a été réalisée dans le chapitre précédent pour avoir la répartition de la température dans le bloc moteur.

II. Acier standard

On va utiliser deux cas pour l'acier standard :

- **Cas normal** : Une température de 80°C de liquide de refroidissement.
- **Cas accidentel** : l'absence de liquide de refroidissement dans le bloc moteur.

II.1 Cas normal :

II.1.1 Température:

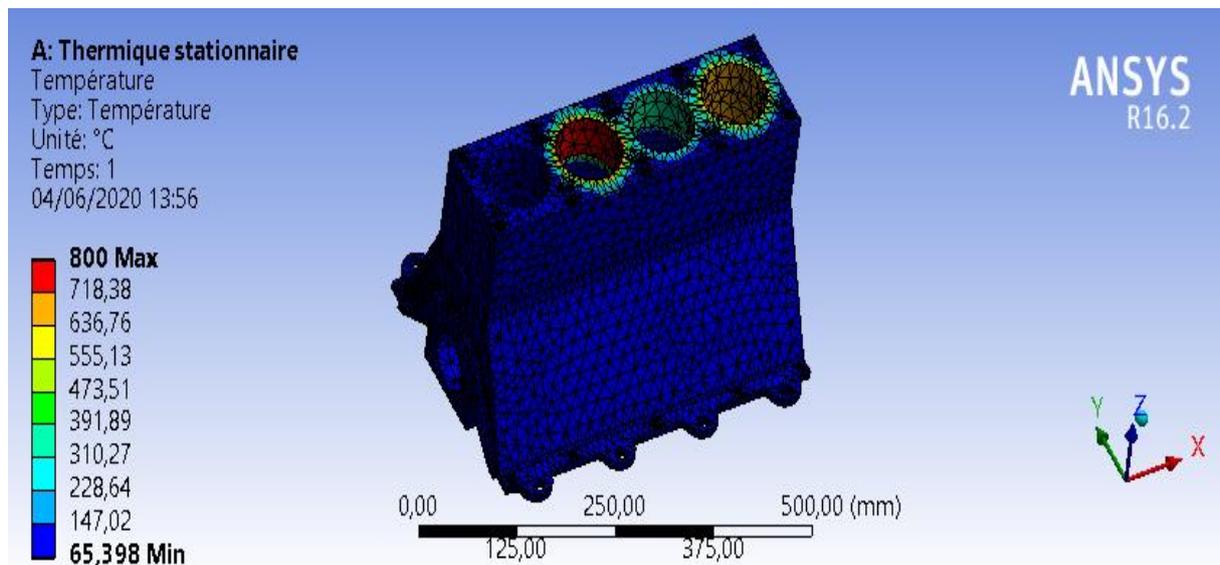


Figure 49 Distribution de la température dans le bloc moteur

On remarque que :

La température max = 800°C (se trouve dans la zone de combustion).

La température min = 65,39°C.

- ❖ Donc on prend comme idée que le liquide de refroidissement joue un rôle d'empêcher les températures (combustion, compression, échappement) de se propager dans tout le corps du bloc moteur.
- ❖ Cette distribution de température dans le bloc moteur est pour un seul cycle de temps 1', si on applique ces températures avec plusieurs cycles de moteur, on va remarquer l'augmentation de la température dans les quatre cylindres aussi.

II.1.2 Flux de chaleur total :

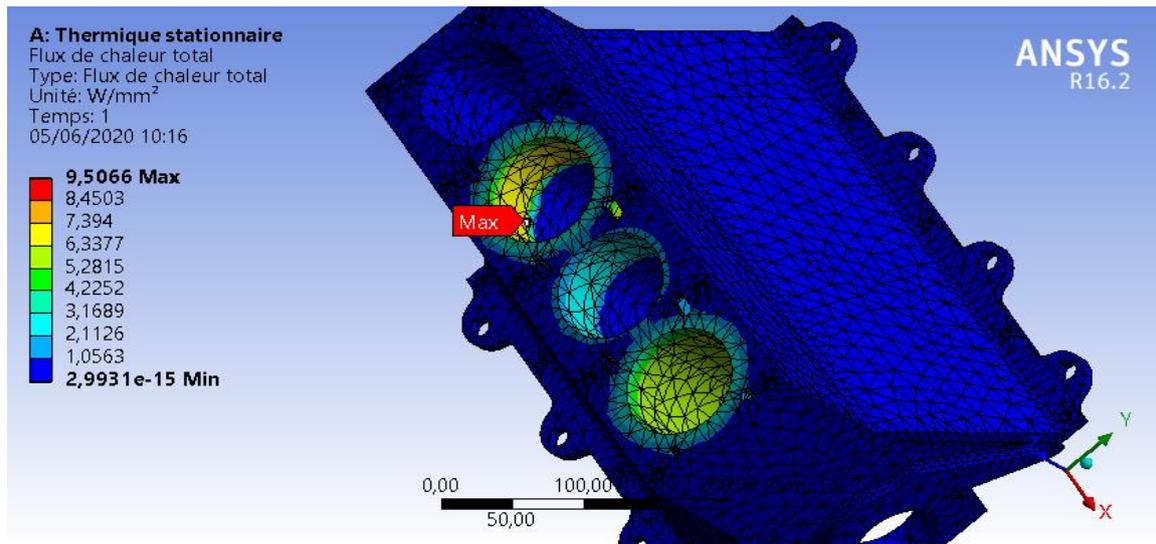


Figure 50 Flux de chaleur total

II.1.3 Déformation thermique :

- Valeur maximale : $0,0098408 \text{ mm/mm} = 0,98\%$

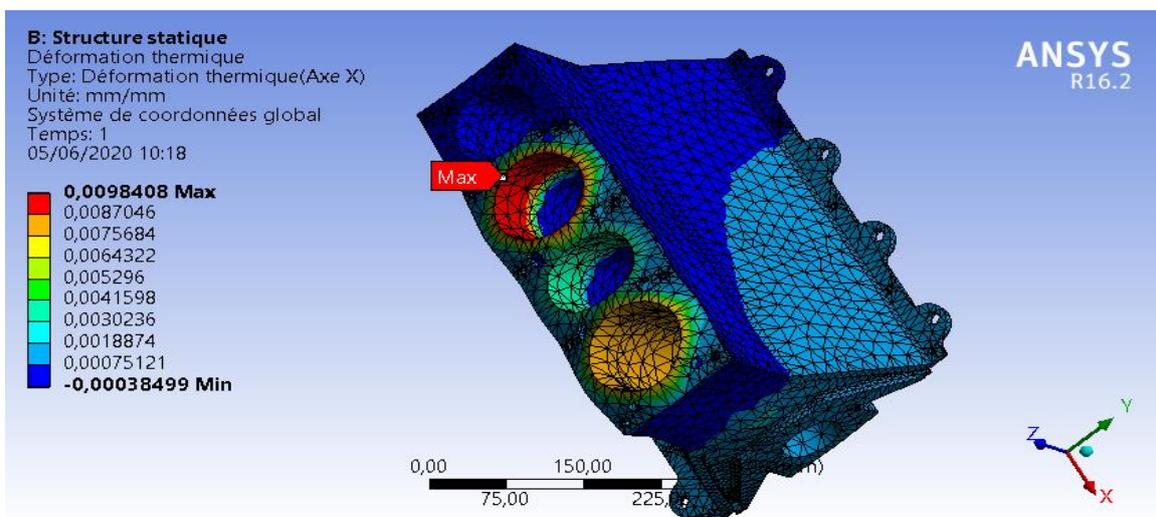


Figure 51 La déformation thermique

II.1.4 Déformation totale équivalente :

D'après les résultats obtenus on constate que les contraintes et les déformations maximales sont localisées au niveau de la zone de combustion (la température de la combustion est égale 800°C).

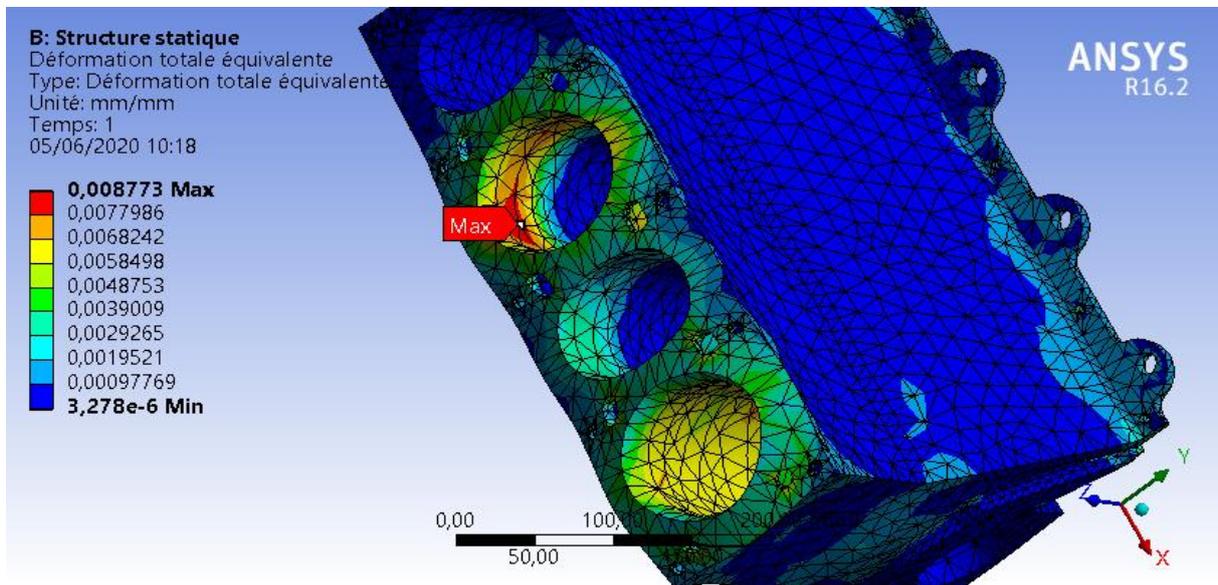


Figure 52 La déformation totale équivalente

II.1.5 Contrainte équivalente (Von-Mises) :

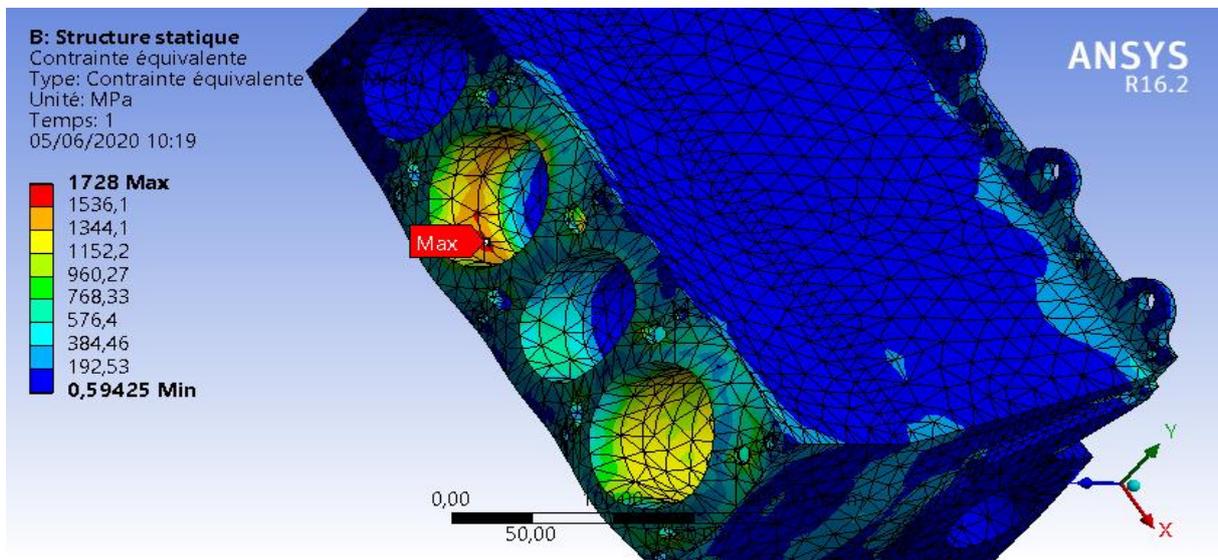


Figure 53. La contrainte équivalente (Von-Mises)

❖ La valeur maximale obtenue est très élevée (1728 MPA).

La contrainte maximale équivalente de Von Mises est de 1728 MPa, elle est supérieure à la limite d'élasticité de notre acier $Re=250$ MPa (voir le Tableau 4). Nous proposons donc d'utiliser un matériau du bloc moteur (ou des chemises) qui possède une limite d'élasticité supérieure à 1728 MPa, ou bien effectuer un traitement thermique superficiel des surfaces intérieures des 4 cylindres afin d'augmenter leurs limites d'élasticité.

II.1.6 Déplacement total:

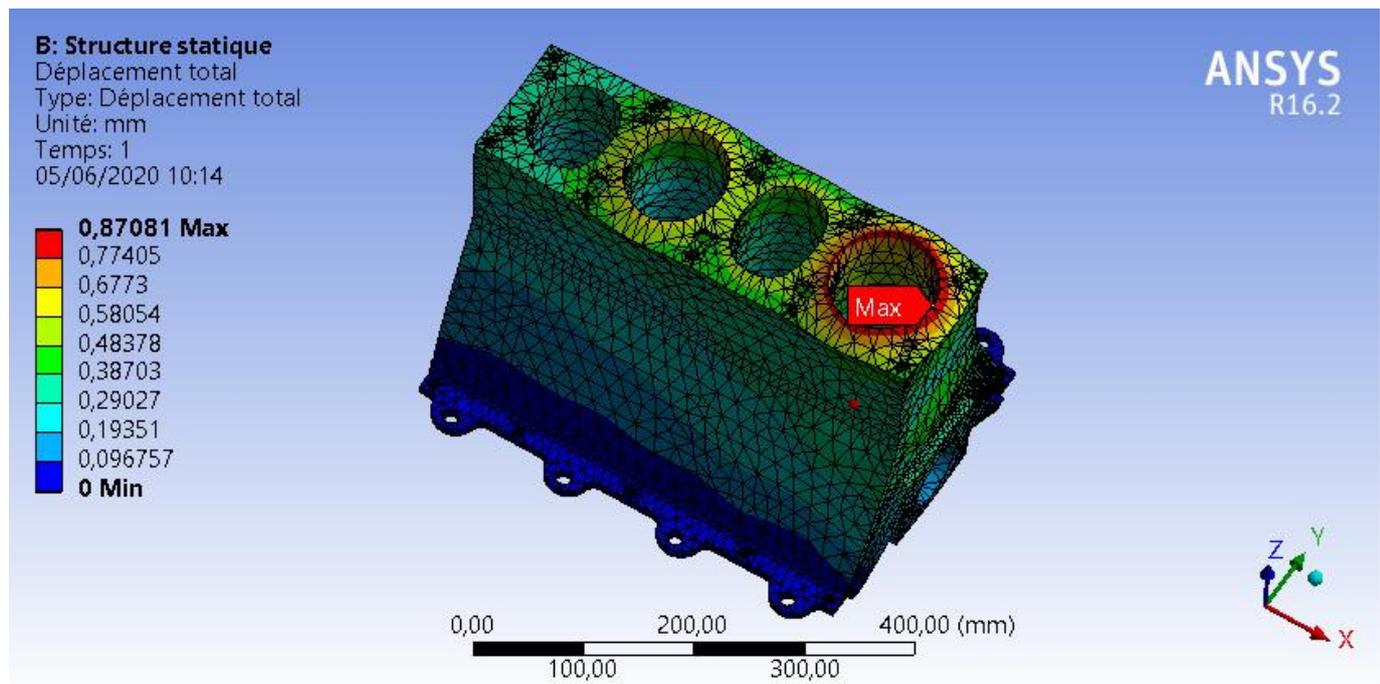


Figure 54. Déplacement total

- ❖ A cause de la température maximale qui déforme la zone. Le déplacement maximal (**0,87 mm**) se trouve dans la zone de l'échappement.
- ❖ on remarque que le déplacement minimal est sur le support fixe en dessous du bloc
- ❖ le déplacement maximale est sur la zone de l'échappement, car on a appliqué une température égale 700°C à la paroi du 4^{ème} cylindre, de PMB jusqu'à PMH.

II.1.7 La trajectoire :

Pour tracer nos courbes on a besoin d'une trajectoire.

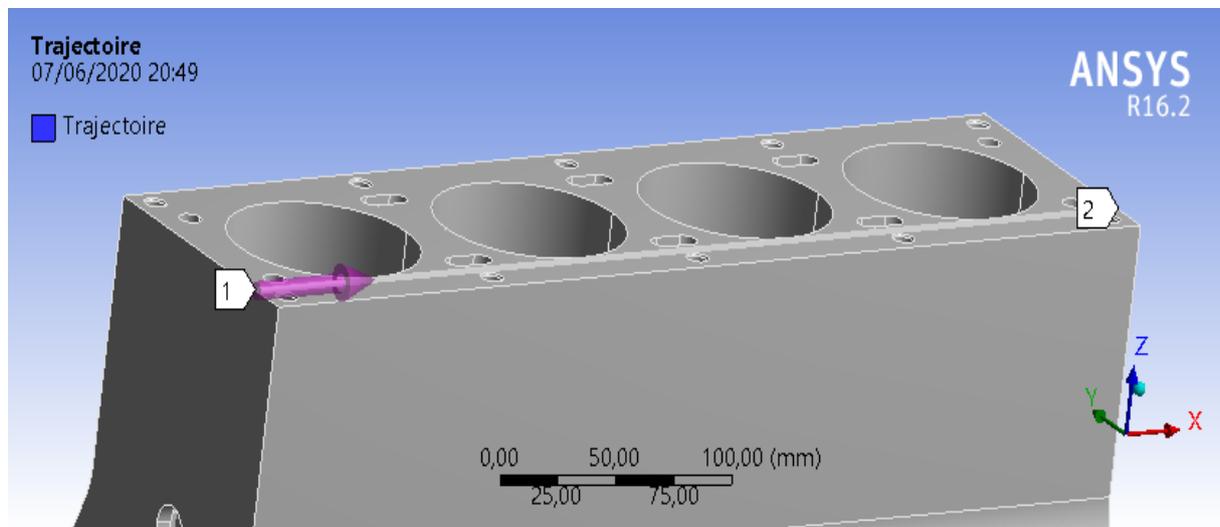


Figure 55: La trajectoire

Avec:

| Les coordonnées | Début (1) | Fin (2) |
|----------------------|-----------|---------|
| Coordonnée de X (mm) | -220 | 220 |
| Coordonnée de Y (mm) | -45 | -45 |
| Coordonnée de Z (mm) | 0 | 0 |

Tableau 8. Les coordonnées de la trajectoire (mm).

- Les figures suivantes représentent les courbes de la trajectoire :

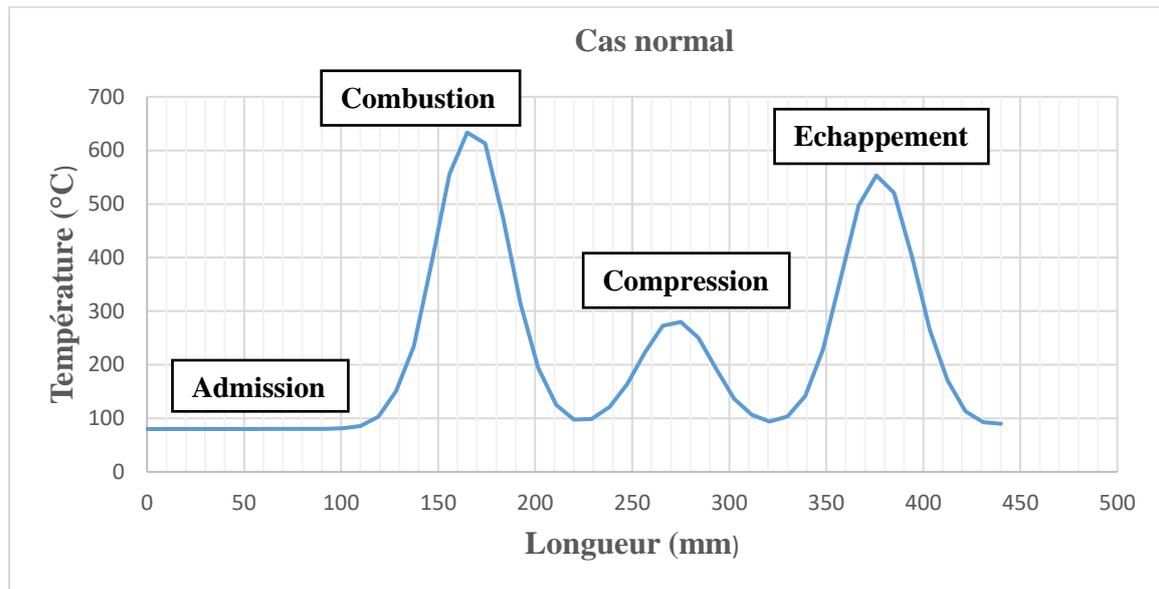


Figure 56. Température en fonction de la longueur de la trajectoire

Admission : c'est la Température **minimale** qui égale **80°C**, (c'est la même température du liquide de refroidissement).

Combustion: c'est la température **maximale** qui égale **635,3°C**

Compression : Température égale **280°C**

Echappement : Température égale **553,1°C**

Mais on remarque que le liquide à 80°C refroidit le bloc moteur :

1. Température d'admission après le refroidissement 80°C = température appliqué de d'admission (80°C).
2. Température de la combustion après le refroidissement 635,3°C < température appliqué de combustion (800°C).
3. Température de la compression après le refroidissement 280°C < température appliqué de compression (340°C).
4. Température d'échappement après le refroidissement 553,1 < température appliqué de d'échappement (700°c).

Alors : ces résultats et la comparaison montrent que le liquide de refroidissement joue un rôle très important pour refroidir le bloc moteur.

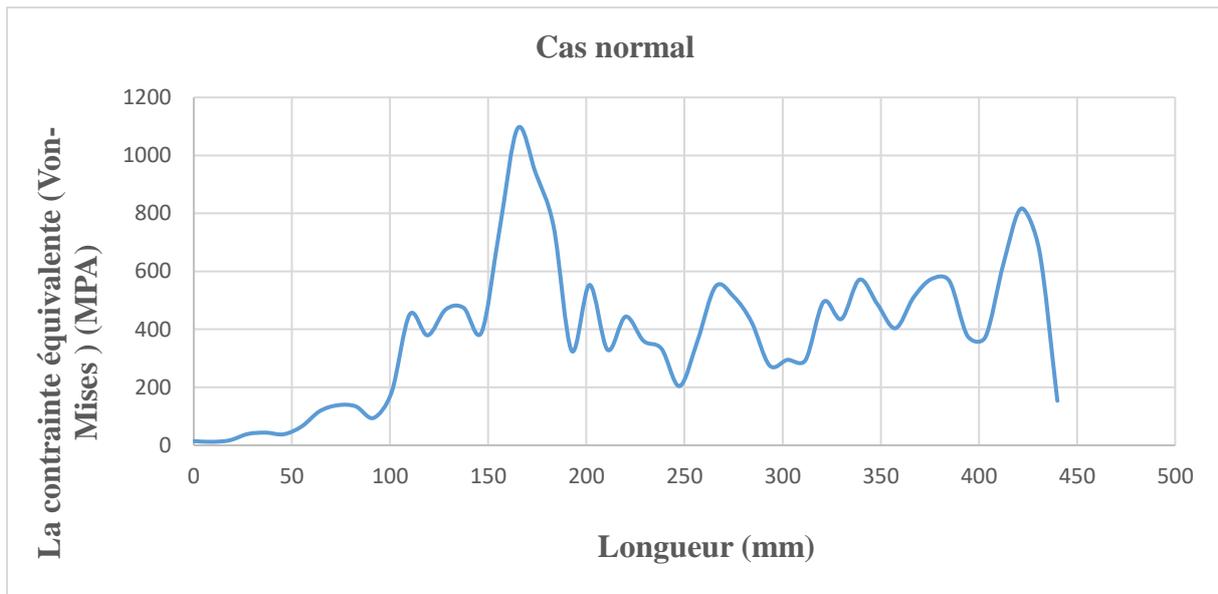


Figure 57 La contrainte équivalente (Von-Mises) en fonction de la longueur

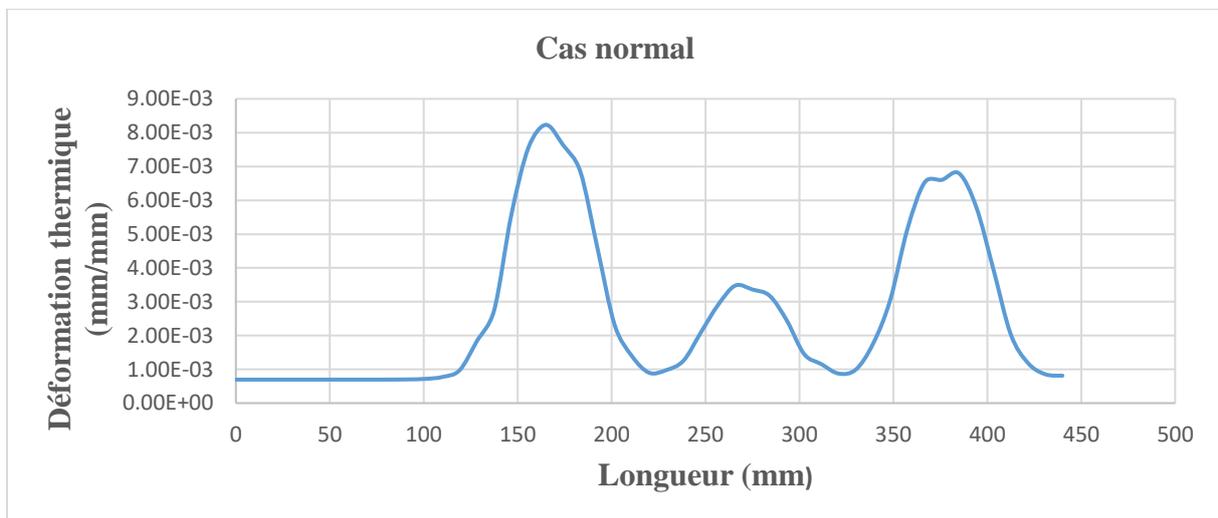


Figure 58: La déformation thermique en fonction de la longueur

- ❖ Puisque la température maximale est appliquée sur la combustion donc La déformation thermique maximale se situe dans cette zone
- ❖ La déformation thermique minimale se situe dans la zone d'admission parce que la température d'admission est faible.
- ❖ le coefficient de dilatation de l'acier augmente proportionnellement avec l'augmentation de la température (**voir Tableau 4**).

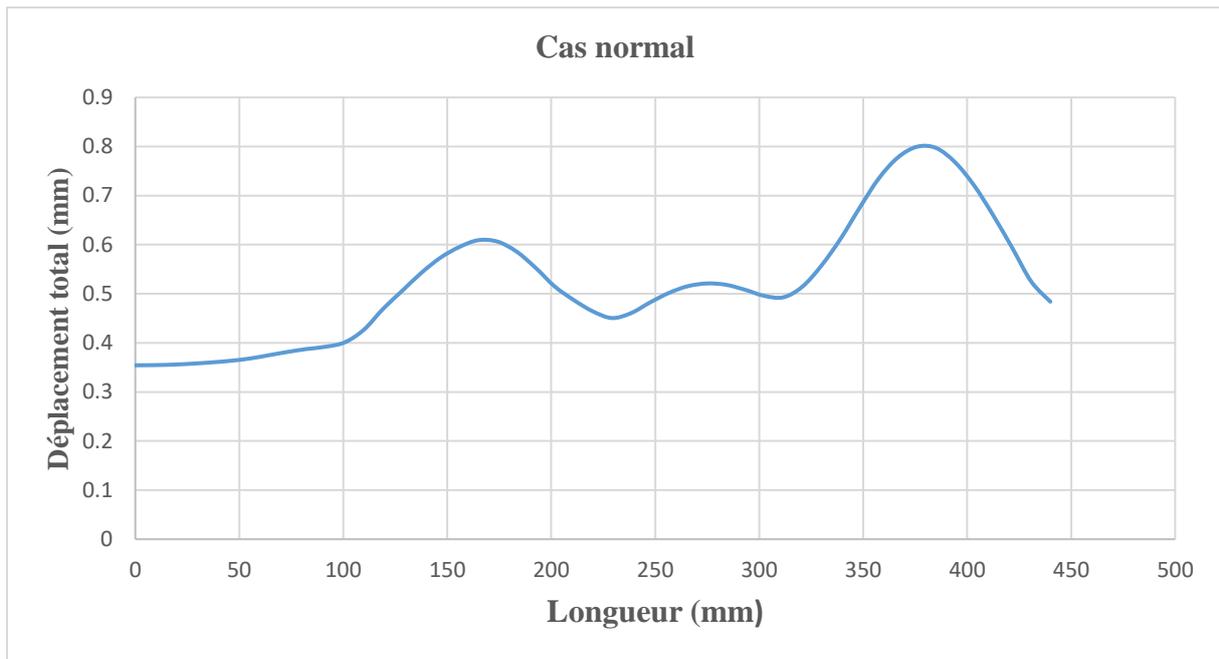


Figure 59: Le déplacement total en fonction de la longueur

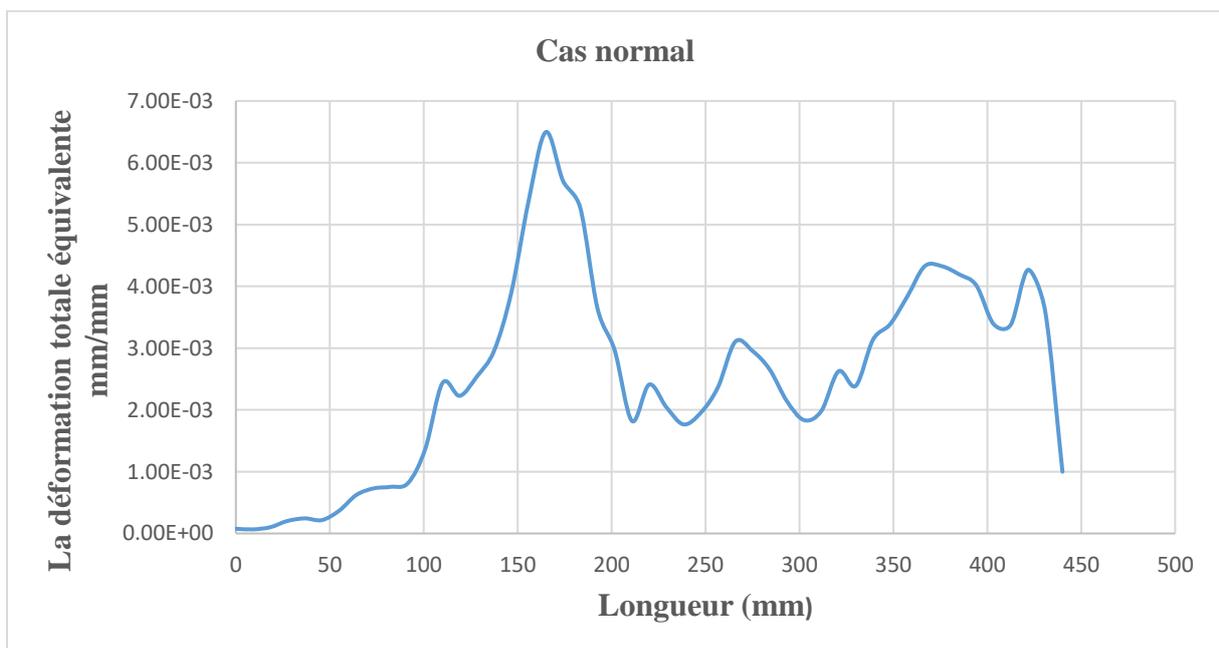


Figure 60: La déformation totale équivalente en fonction de la longueur

II.2 Cas accidentel :

II.2.1 Température:

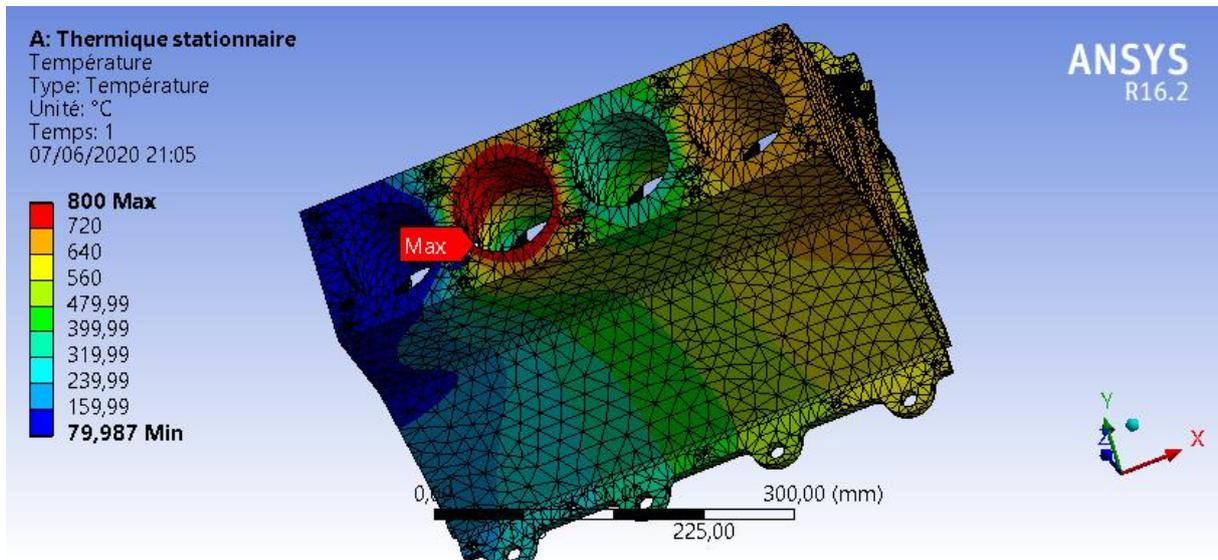


Figure 61: Distribution de la température dans le bloc moteur

- ❖ La température maximale est égale **800 °C** qui se situe dans la zone de combustion
- ❖ La température minimale égale **79,9°C**.
- ❖ Le manque du liquide de refroidissement produit une propagation des températures de combustion, échappement, compression dans tout le corps de notre modèle du bloc moteur.

II.2.2 Contrainte équivalente (Von-Mises) :

- ❖ La contrainte maximale est **5928.5 MPa**, elle est trois fois plus grande que la contrainte atteint dans le cas normal. Elle se situe dans la zone d'encastrement en bas du bloc.

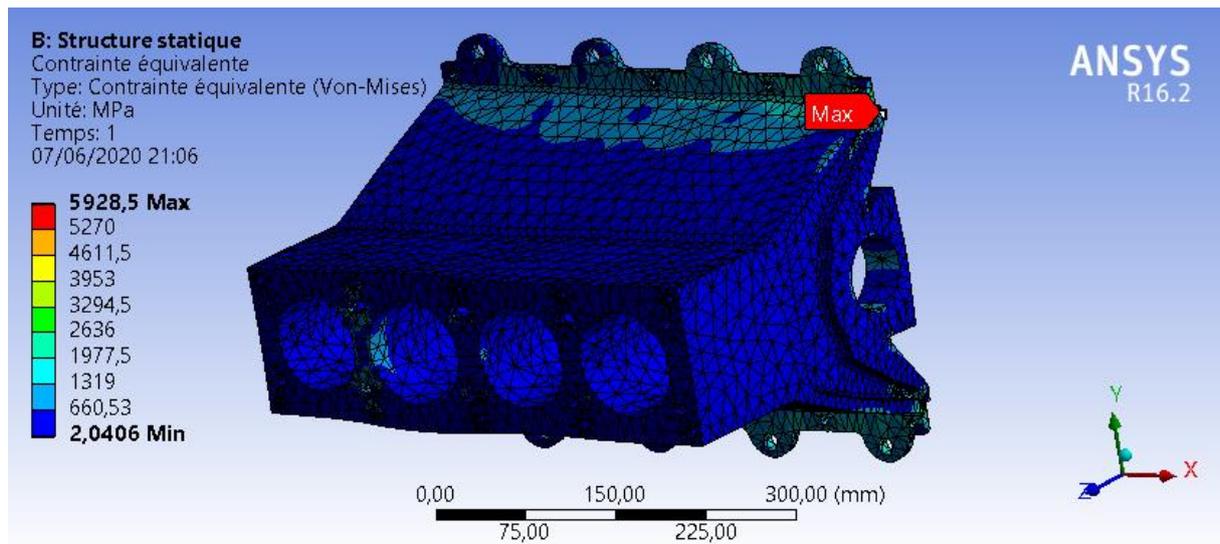


Figure 62: La contrainte équivalente (Von-Mises)

La figure représente l'évolution de la température (°C) en fonction la longueur (mm) du bloc moteur :

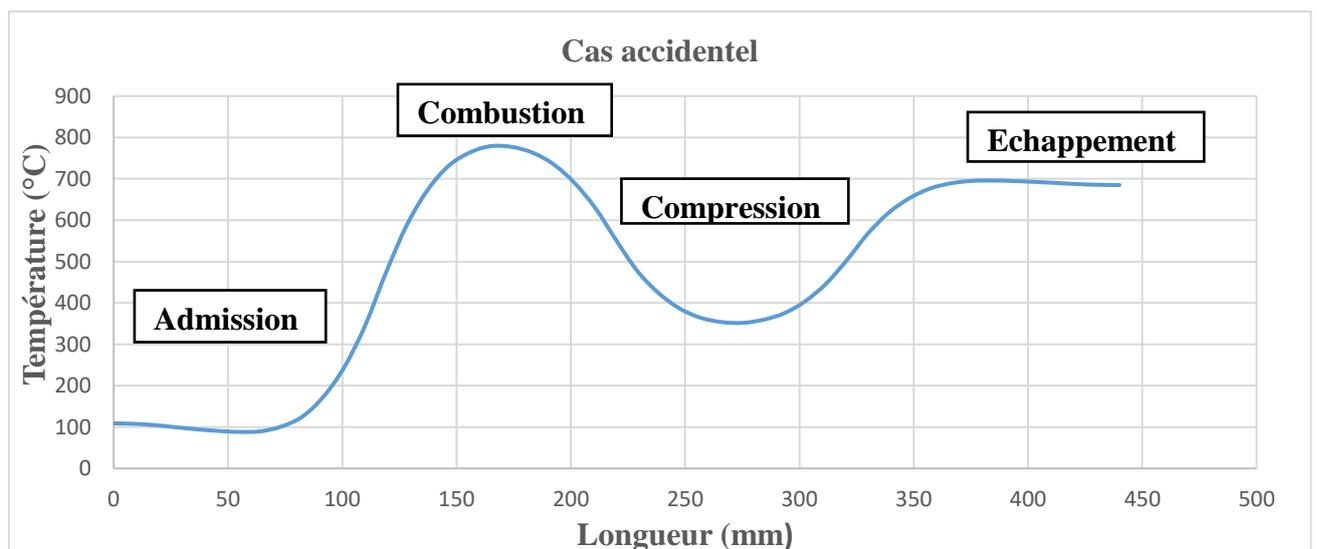


Figure 63: La température en fonction de la longueur

La température maximale = **778,98°C**

La température minimale = **90,539 °C**

On remarque que :

La température d'admission est minimale, et puis on observe que la courbe augmente jusqu'à une température maximale de la combustion, et après la courbe descendre vers la température de compression = **340°C** après on aura une autre augmentation de la température de l'échappement = **700°C**

L'augmentation des températures à cause l'absence de liquide de refroidissement qui joue un rôle très important dans la distribution de la température dans le bloc moteur et le bon fonctionnement

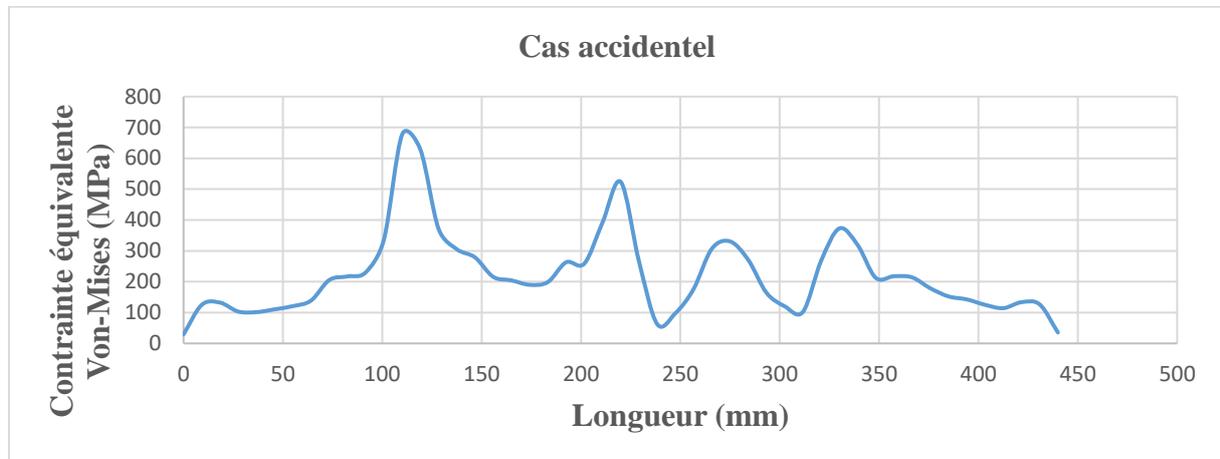


Figure 64: La contrainte équivalente (Von-Mises) en fonction de la longueur

III. Comparaison entre le cas normal et le cas accidentel :

Suite à ces analyses sur les deux cas (normal, accidentel on va comparer entre les deux au niveau de la température :

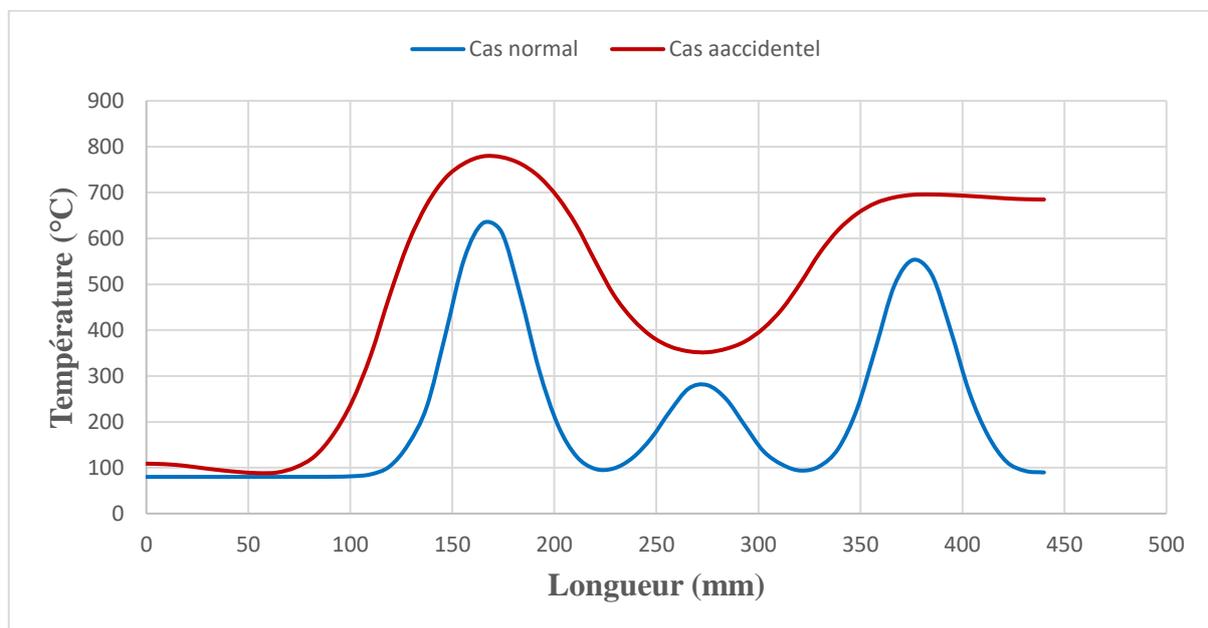


Figure 65: Comparaison entre le cas normal et le cas accidentel

Alors : d'après les résultats obtenus sur les deux cas (normal et accidentel) on remarque que la température du cas accidentel est supérieure que la température du cas normal car l'absence et le manque du liquide de refroidissement dans la zone accélère la propagation de la température dans bloc moteur.

Le tableau suivant présente les valeurs maximales (σ Von-Mises, la déformation thermique, le déplacement total) de l'acier standard :

| | Acier standard |
|---|-----------------------|
| La contrainte équivalente (Von-Mises) maximale | 1728 MPa |
| La déformation thermique maximale | 0,98% |
| Le déplacement total maximal | 0,87 mm |

Tableau 9: les valeurs maximales de l'acier standard

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Le travail présenté dans ce mémoire abordé une étude et une modélisation thermomécanique d'un bloc moteur. Pour le but de garantir un bon fonctionnement du bloc moteur dans l'automobile, il faut éviter l'augmentation et la propagation des températures, les contraintes thermomécaniques et les déformations et les déplacements.

On a utilisé un bloc en « acier standard » comme type de matériau utilisé dans la simulation, ce choix est surtout pour ses propriétés thermomécaniques.

Ce projet de fin d'étude nous a permis de faire un calcul thermomécanique sur un modèle normal en acier et un calcul accidentel avec une absence du liquide de refroidissement dans la zone des cylindres, cela montre que la température de combustion a un impact direct comme dégât dans le cas accidentel ce qui donne une propagation et une augmentation de la température dans tout le bloc, la contrainte équivalente (Von-Mises) maximale est plus grande dans ce cas que la contrainte dans le cas normal, alors le liquide de refroidissement a un principe de refroidir la température du moteur et ainsi éviter les risques de surchauffe susceptibles de causer des dommages irrémediables.

Dans l'avenir, on recommande de faire les tests avec d'autres matériaux qui possèdent des limites d'élasticité encore plus élevées que le matériau testé comme (la fonte grise, des alliages d'aluminium...)

ANNEXE

| CARBURANT | ESSENCE OU GASOLINE ISO-OCTANE |
|---|---------------------------------------|
| FORMULE OU MOLECULE CHIMIQUE | C8H18 C7H16 |
| POIDS MOLECULAIRE (g/mol) | 100-114 |
| MASSE VOLUMIQUE (kg/m ³) | 720-780 |
| CONDUCTIVITE THERMIQUE DU MELANGE (AIR+CARBURANT) (W/mK) | 2,4 |
| GAMMA=CP/CV DU MELANGE (AIR) : Coefficient isentropique ou exposant adiabatique | 1,4 |
| RAPPORT AIR/CARBURANT DANS LE CYLINDRE (kg/kg) | 14,7 |
| POUVOIR CALORIFIQUE (MJ/kg) | 44-47 |
| TEMPERATURE D'AUTOINFLAMMATION (°C) AUTO-IGNITION TEMPERATURE | 227-477 (380) |
| NOMBRE OU INDICE D'OCTANE | 92-98 (87) |
| LIMITE DE LA FLAMABILITE DANS L'AIR (% VOLUME DU CARBURANT DANS 100% MELANGE AIR+CARBURANT) | 1-7,6 |
| TEMPERATURE DE LA FLAME (°C) | 2000-2307 |
| RENDEMENT | 0,20-0,25 |
| TAUX DE COMPRESSION | 07-10 |