

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
CENTRE UNIVERSITAIRE DE TISSEMSILT
INSTITUT DES SCIENCES & TECHNOLOGIES

Visa du Directeur de l'Institut des
Sciences et Technologies

Signature:.....

Date:.....

Modélisation du moteur 4 temps par Solidwork

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme

De Master académique

En « **Installation Energétique** »

Encadreur: ferniniBrahim

Signature:.....

Date:.....

Réalisé par:

Étudiant (e) : Vall ould Baba

Signature:.....

Normalisation et Contrôle

Le chargé:

Signature:.....

Date:.....

Remerciement

En tout premier lieu, je remercie le bon Dieu, tout puissant, de m'avoir donné la force pour survivre, ainsi que l'audace pour dépasser toutes les difficultés.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon Directeur de mémoire *Mr/Fernini Brahim*. Je le remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté à me rencontrer et répondre à mes questions durant mes recherches.

Je tiens à remercier les administrateurs du centre universitaire de Tissemsilt, pour leurs générosités.

Enfin, je remercie tous mes Ami(e)s que j'aime tant, Pour leur sincère amitié et confiance, et à qui je dois ma reconnaissance et mon attachement.

À tous ces intervenants, je présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Mon père,

Ma mère,

Mes frères.

Sommaire

| | |
|---|----|
| Introduction général..... | 07 |
| 1 Introduction au moteur à combustion interne..... | 09 |
| 1.1 Généralités..... | 10 |
| 1.2 Définitions principales..... | 10 |
| 1.3 Classification des moteurs à pistons..... | 11 |
| 1.4 Principe de fonctionnement..... | 12 |
| 1.4.1 Principe de fonctionnement des moteurs à quatre temps diesels..... | 12 |
| 1.4.2 Principe de fonctionnement des moteurs à quatre temps, à essence et à gaz | 15 |
| 1.4.3 Le cycle du moteur à deux temps..... | 16 |
| 1.5 Organisation générale du moteur..... | 17 |
| 1.5.1 Le bâti du moteur..... | 17 |
| 1.5.2 Le système d'embellage..... | 18 |
| 1.5.3 Le système de distribution..... | 21 |
| 1.5.4 Le système de refroidissement par liquide..... | 22 |
| 1.5.5 Le système de refroidissement par air..... | 22 |
| 1.5.6 Le système de graissage..... | 22 |
| 1.5.7 Le système d'alimentation dans les moteurs diesels..... | 23 |
| 1.5.8 Le système d'alimentation dans les moteurs à essence..... | 24 |
| 1.5.9 Le système d'allumage dans les moteurs à essence..... | 25 |
| 2 Les cycles thermodynamiques..... | 26 |
| 2.1 Le rendement thermique..... | 27 |
| 2.2 La pression moyenne du cycle..... | 27 |
| 2.3 Le cycle thermodynamique à introduction mixte de la chaleur..... | 28 |
| 2.3.1 Le taux de compression (ϵ)..... | 28 |
| 2.3.2 Le taux de croissance de la pression (λp)..... | 29 |
| 2.3.3 Le taux de la détente préliminaire (ρd)..... | 29 |
| 2.3.4 Le taux de la détente postérieure (δd)..... | 29 |
| 2.3.5 L'exposant adiabatique (γ)..... | 29 |
| 2.4 Le cycle thermodynamique à introduction isochore de la chaleur..... | 30 |
| 2.5 Le cycle thermodynamique à introduction isobare de la chaleur..... | 30 |
| 2.6 Formules de calcul du rendement thermique..... | 31 |
| 2.6.1 Premier cas particulier : la formule du rendement thermique du cycle à introduction isochore de la chaleur..... | 33 |
| 2.6.2 Deuxième cas particulier : la formule du rendement thermique du cycle à introduction isobare de la chaleur..... | 33 |

| | | |
|---------|--|----|
| 2.7 | Formules de calcul de la pression moyenne du cycle..... | 33 |
| 2.7.1 | Premier cas particulier : la formule de la pression moyenne du cycle à introduction isochore de la chaleur | 34 |
| 2.7.2 | Deuxième cas particulier : la formule de la pression moyenne du cycle à introduction isochore de la chaleur | 34 |
| 2.8 | Etude de l'influence de divers facteurs sur le rendement thermique et la pression moyenne..... | 34 |
| 2.8.1 | Premier cas-Le cycle à introduction isochore de la chaleur | 34 |
| 2.8.1.1 | Le rendement thermique | 34 |
| 2.8.1.2 | La pression moyenne | 35 |
| 2.8.2 | Deuxième cas- Le cycle à l'introduction isobare de la chaleur | 36 |
| 2.8.2.1 | Le rendement thermique | 36 |
| 2.8.2.2 | La pression moyenne | 37 |
| 2.8.3 | Troisième cas- Le cycle à introduction mixte de la chaleur | 37 |
| 2.8.3.1 | Le rendement thermique | 37 |
| 2.8.3.2 | La pression moyenne | 38 |
| 3 | Modélisation et résultats par logiciel Solidworks | 39 |
| 3.1 | Le Vilebrequin | 40 |
| 3.2 | La Bielle | 41 |
| 3.3 | Le Piston | 43 |
| 3.4 | Discussion | 45 |
| 3.5 | Simulation des contraintes de Von Mises en utilisant la méthode des éléments finis dans la phase d'explosion | 46 |
| 3.5.1 | Définition de la méthode des éléments finis | 46 |
| 3.5.2 | Les critères de Von Mises | 48 |
| | Conclusion général | 53 |
| | Bibliographiques | 54 |
| | Annexe A. L'image du Moteur a 4 temps | 56 |
| | Annexe B. Les propriétés de masse des pièces essentielles de moteur à 4 temps..... | 57 |
| | Résumé | 59 |

Table des figures

| | |
|---|----|
| Fig.1— Moteur à piston | 10 |
| Fig.2—Admission..... | 13 |
| Fig.3—Compression | 14 |
| Fig.4—Combustion et Détente | 14 |
| Fig.5—Echappement | 15 |
| Fig.6—Le moteur 2 temps | 16 |
| Fig.7-Schéma du Bloc moteur | 18 |
| Fig.8—Piston avec segments du piston | 19 |
| Fig.9—La bielle | 19 |
| Fig.10—Schéma de fonctionnement de vilebrequin | 20 |
| Fig.11- Les culbuteurs | 21 |
| Fig.12—Cycle thermodynamique à introduction Mixte de la chaleur | 28 |
| Fig.13—Cycle thermodynamique à introduction isochore de la chaleur | 30 |
| Fig.14—Cycle thermodynamique à introduction isobare de la chaleur | 31 |
| Fig.15- Moteur monocylindre | 40 |
| Fig.16—Vilebrequin | 40 |
| Fig.17—Vitesse de rotation du vilebrequin | 41 |
| Fig.18— Bielle | 41 |
| Fig.19— Les déplacements linéaire de la bielle | 41 |
| Fig.20—Les déplacements Vitesse linéaire de la bielle | 42 |
| Fig.21—Les déplacements accélérations linéaire de la bielle | 42 |
| Fig.22—Piston | 43 |
| Fig.23—Les déplacements linéaire du piston | 43 |
| Fig.24—Les Déplacements vitesses linéaire du piston | 44 |
| Fig.25—Les Déplacements accélérations linéaire du piston | 44 |
| Fig.26—Les déplacements de piston PMB et PMH | 45 |
| Fig.27—Une rotation de vilebrequin moteur deux temps | 45 |
| Fig.28—Deux rotations de vilebrequin moteur 4 temps | 46 |
| Fig.29— Cellules d'intégration | 47 |
| Fig.30—Maillage triangulaire du piston utilisé dans la simulation | 47 |
| Fig.31—Distribution des contraintes dans la phase d'explosion | 49 |
| Fig.32—Distribution des déformations dans la phase d'explosion | 49 |
| Fig.33— Déplacement du piston sous l'effet de la température | 50 |
| Fig.34— Evolution de distribution des contraintes en fonction de nœud | 50 |
| Fig.35— Evolution des déformations en fonction de nœud | 51 |
| Fig.36— Evolution de déplacement en fonction de nœud | 51 |

Nomenclatures

| | |
|-------|--|
| V_c | volume de la chambre de combustion [m^3] |
| V_h | volume compris entre les deux points morts [m^3] |
| V_T | Volume totale [m^3] |
| PMH | point mort haut |
| PMB | point mort bas |
| W | travail mécanique [J] |
| P_t | pression moyenne [MP_a] |
| P_z | pression à la fin de l'introduction de la chaleur |
| P_c | pression en fin de compression |
| P_a | pression initiale |
| V_b | volume du cylindre à la fin détente |
| V_z | volume du cylindre à la fin de l'introduction de la chaleur |
| C_p | capacité calorifique à pression constante [$J\ kg^{-1}\ K^{-1}$] |
| C_v | capacité calorifique à volume constant [$J\ kg^{-1}\ K^{-1}$] |
| N | nombre de cylindre |
| T | température [K] |
| C | course du piston |
| D, d | L'alésage du cylindre ou un diamètre [m] |
| R | constante des gaz [$J\ kmol^{-1}\ K^{-1}$] |

Symboles grecques

| | |
|-------------|--|
| ϵ | taux de compression dans le cylindre |
| η_t | rendement thermique |
| ρ_d | taux de détente préliminaire dans le cycle |
| λ_p | taux de compression |
| γ | l'exposant adiabatique |
| δ_d | tau de détente postérieure |

Indices

| | |
|-----|-------------------------------------|
| F | rapporte au fluide dans le cylindre |
| Ac | compression adiabatique |
| MEF | méthode des éléments finis |
| MCI | moteurs à combustion interne |

Introduction général

Actuellement, 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. L'énergie chimique du combustible est d'abord convertie en chaleur par la combustion, puis elle est convertie en travail mécanique. En effet, la chaleur produite par la combustion augmente la pression ou le volume spécifique, et grâce à son expansion, le travail mécanique est obtenu.

Dans les moteurs à combustion interne (MCI), les produits la combustion (par exemple l'air et le carburant) sont utilisés comme fluides de travail, tandis que dans les moteurs à combustion externe, la combustion produit le transfert de chaleur à un autre fluide de travail au moyen d'échangeurs de chaleur. En outre, alors que dans le MCI la combustion a lieu à l'intérieur du cylindre, dans les moteurs à combustion externe, la combustion est obtenue dans une chambre séparée, appelée habituellement brûleur[9].

Comme le processus de combustion d'un MCI modifie les caractéristiques du fluide de travail, le fonctionnement cyclique ne peut être obtenu que par un remplacement périodique du fluide de travail lui-même, c'est à dire par un cycle ouvert. Le terme «cycle» pour MCI se réfère ainsi au cycle de travail du moteur, et non pas à un cycle thermodynamique du fluide de travail. Les carburants doivent avoir des caractéristiques compatibles avec le fonctionnement du moteur, ce qui signifie que leurs produits de combustion doivent permettre d'être utilisés comme fluide de travail.

Cependant, ce modeste travail est consacré plus spécialement à l'étude des moteurs à pistons naturellement aspirés. Ce genre des moteurs est largement utilisé dans les voitures. Parlant de fonctionnement énergétique ; Un moteur à quatre temps est un moteur à pistons qui nécessite de faire deux tours complets pour revenir au point de départ. De plus cetype des moteurs a pour les significations suivantes :

- Le processus de fonctionnement, se déroule par quatre mouvements du piston ;
- Le mélange air-carburant est introduit dans le cylindre au cours de l'une de ces phases.

Le but de ce travail présent la modélisation et l'étude des mouvements du moteur 4 temps par logiciel SolidWorks (2015).

La topologie de travail dans ce manuscrit est devisée en trois parties:

Dans le premier chapitre, nous avons présenté le principe de fonctionnement des moteurs à combustion interne sans oublier la classification de différents types de ces moteurs. D'une autre part, un bref de description des éléments de base de ce type de moteur (MCI) a été exposé (piston, vilebrequin, la Bielle).

Le deuxième chapitre de ce manuscrit est consacré pour la théorie des moteurs à combustion interne. Bien que cette théorie est basée essentiellement sur les lois de la thermodynamique et de la gazodynamique (mécanique des fluides).

Finalement, le troisième chapitre est réservé pour la modélisation et la simulation par logiciel SolidWorks et puis l'exposition et l'interprétation des résultats avec une conclusion générale.

Chapitre: 01

Introduction au moteur à combustion interne

Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter le principe fonctionnement de moteur à combustion interne avec montre les classifications de ce moteur. D'une autre part une bref des cription des éléments de base du système étudié a été exposer (piston, Vilebrequin, la Bielle).

1.1 .Généralités:

Les moteurs thermiques en générale, sont définis comme des machines qui transforment l'énergie thermique en énergie mécanique. L'énergie thermique peut être obtenue par combustion d'un mélange d'air et de combustible. Selon le lieu de déroulement de la combustion, ils se divisent en deux groupes :

a) Moteurs à combustion externe

Le moteur à combustion externe où la combustion est organisée à l'extérieur du moteur, dans la chambre de combustion. Les moteurs à pistons, les turbines à gaz et les turboréacteurs font partie de ce groupe.

b) Le moteur à combustion interne

Traditionnellement, l'appellation moteur à combustion interne est réservée, uniquement, aux moteurs à pistons, naturellement aspirés ou suralimentés par un turbocompresseur. Ce genre de moteurs est, largement, utilisé dans le domaine du transport routière, maritime, ferrovier et aérien, dans le matériel des travaux publics et agricoles, ainsi que dans les centrales électriques [2].

1.2. Définitions principales :

Le schéma d'un moteur à piston, est représenté sur la figure 1.

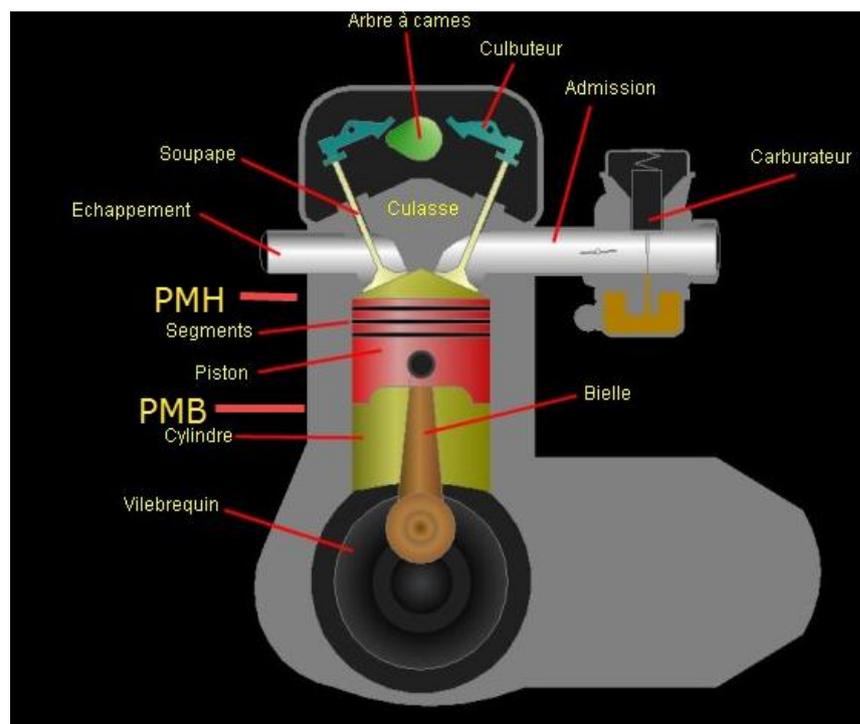


Fig.1- Moteur à piston [17]

Le piston coulisse entre deux points, le haut et appelé point mort haut (PMH), le bas – point mort bas (PMB).

La distance parcourue par le piston, dans le cylindre d'alésage (D), entre ces deux points, représente la course du piston (C).

Le volume compris entre la culasse et le piston, à sa position au point mort haut, représente le volume de la chambre de combustion (V_c).

Le volume compris entre les deux points morts, est appelé cylindrée unitaire du moteur (V_h) :

$$V_h = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot c}{4} \quad (1)$$

La somme des cylindrées unitaire d'un moteur à plusieurs cylindres (n) représente la cylindrée totale (V_T) :

$$V_T = n \cdot V_h \quad (2)$$

La somme du volume de la chambre de combustion (V_c) et de la cylindrée unitaire, est appelée volume total (V_a) :

$$V_a = V_c + V_h \quad (3)$$

Le rapport du volume total au volume de la chambre de combustion, est appelé taux de compression (ε) :

$$\varepsilon = \frac{V_a}{V_c} \quad (4)$$

L'ensemble des opérations qui se répètent, périodiquement, dans le cylindre et dans un ordre déterminé, est appelé cyclé. La partie du cycle qui correspond à un tour du vilebrequin, est nommé temps.

1.3. Classification des moteurs à pistons

Les moteurs à pistons peuvent être classifiés selon différents principes, par exemple :

- Selon le nombre de temps pour la réalisation du cycle, en moteur à quatre temps et en moteurs à deux temps.
- selon le nombre de cylindre, en moteurs à un seul cylindre et en moteurs multi-cylindriques.
- Selon la position des cylindres, en moteurs en ligne, moteurs en V et en moteurs à position verticale ou horizontale des cylindres, moteurs étoilés.
- Selon l'utilisation, en moteurs de transport et en moteurs stationnaires.
- Selon la forme de l'introduction de l'air dans la chambre de combustion, en moteurs naturellement aspirés et en moteurs suralimentés.
- Selon le type de la formation du mélange, en moteurs à formation externe du mélange (moteurs à carburateur) et en moteurs injection directe et indirecte.

- Selon le type de combustible utilisé, en moteurs à essence (moteurs à carburateur). Moteurs à gas-oil (moteurs diesels), moteurs à gaz et en moteurs à plusieurs combustibles. Ets.
- Selon le type de l'allumage, en moteurs à allumage par étincelle (moteurs à carburateur) et en moteurs à allumage par compression (moteurs diesel).
- Selon le type de régulation de la puissance, en moteurs à régulation quantitative de la puissance (moteurs à carburateur). Ici la variation de la puissance est obtenue par augmentation ou diminution de la quantité du mélange air + combustible, introduit dans le cylindre. Et en moteur à régulation qualitative de la puissance (moteurs diesel). dans ce cas, l'augmentation ou la diminution de la puissance est obtenue par variation de la qualité du mélange, en fonction du rapport air/ combustible.
- selon le type du système de refroidissement, moteur à refroidissement par liquide et moteur à refroidissement par air [2].

1.4. Principe de fonctionnement :

Le principe de fonctionnement d'un moteur à pistons, dépend du type de celui-ci, c'est-à-dire :

- du nombre de temps dans le cycle (à quatre ou à deux temps).
- Du type de l'allumage (par étincelle ou par compression).
- Du type de combustibles (à gaz par exemple ou à autre).

1.4.1 Principe de fonctionnement des moteurs à quatre temps diesels :

Le moteur diesel (moteur à auto-inflammation ou allumage spontané) est un moteur à combustion interne dont le carburant (directement injecté dans la chambre de combustion) s'enflamme grâce à la chaleur créée par la très forte compression de l'air pur contenu dans la chambre de combustion qui provoque l'allumage[14].Ce type de moteurs peut-être aussi, appelé moteur à allumage par compression.

Dans les moteurs diesels à quatre temps, Le cycle se réalise en deux tours de vilebrequin. Chaque tour correspond à deux temps. Les quatre temps sont :

L'admission, la compression, la détente et l'échappement. Ils se déroulent dans l'ordre suivant [2] :

Premier temps: Admission(figure 2)

Ce temps à pour rôle de faire remplir le volume du cylindre par l'air atmosphérique nécessaire pour organiser la combustion.

À l'aide d'un mécanisme spécial appelé système de distribution, la soupape d'admission s'ouvre en laissant entrer une certaine quantité de l'air atmosphérique à l'intérieur du cylindre. Grâce à l'énergie mécanique, accumulée dans le cycle précédent par une grande masse Appelée volant moteur et placé à la queue du vilebrequin, le piston se déplace du point mort haut (PMH) vers le point mort bas (PMB) en aspirant ainsi de l'air vers le cylindre.

À l'arrivée du piston au point mort bas, la soupape de l'admission se ferme. Durant ce temps la soupape d'échappement se maintient fermée.

- La soupape d'admission s'ouvre
- Le piston descend jusqu'au **PMB**
- L'air pénètre dans le cylindre [3].

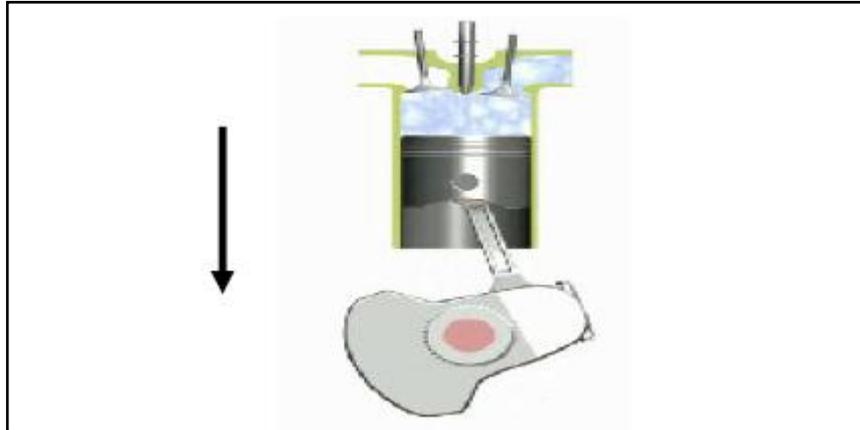


Fig.2-Admission [3]

Deuxième temps: Compression: (figure 3)

La compression a pour rôle de comprimer l'air introduit dans le cylindre durant le temps de l'admission et le prépare, ainsi, pour la réalisation d'une bonne combustion.

À l'aide du système de distribution, les soupapes de l'admission et de l'échappement maintiennent fermées.

Toujours grâce à l'énergie mécanique accumulée dans le volant de vilebrequin, le piston se déplace de point mort bas vers le point mort haut, en comprimant l'air qui se trouve dans le cylindre du à la compression la température et la pression de l'air accroissent sensiblement a cause du taux de compression élevé dans les moteurs diesels la température de l'air peut atteindre des valeurs de l'ordre de 750 k et plus. La pression et de l'ordre de 5MPa et plus.

Avant l'arrivée du piston au PMH, de quelque peu, à l'aide du système de l'injection, une certaine quantité de combustible finement pulvérisée est injectée dans le contact des Particules de combustible avec l'air-chaud provoque l'inflammation du mélange air+ combustible, en déclenchant, ainsi, la combustion [2].

- Les soupapes sont fermées.
- Le piston remonte.
- L'air est comprimé.
- L'injection du gasoil commence avant le **PMH** [3].

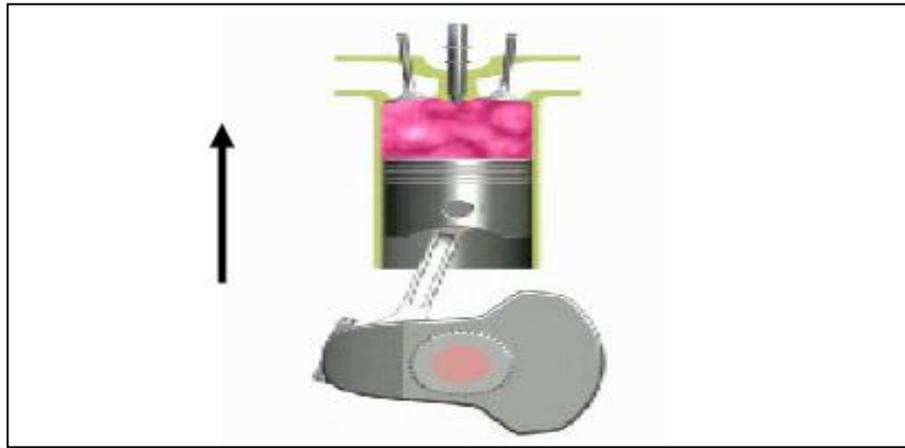


Fig.3- Compression [3]

Troisième temps : La détente (figure4) :

Durant ce temps les soupapes de l'admission et de l'échappement, se maintiennent fermées. La combustion du mélange air+ combustible, provoque une augmentation considérable de la température et de la pression des gaz qui se trouvent enfermés dans le volume de la chambre de combustion. La température peut arriver jusqu'à 2200 K et plus. La pression peut atteindre 15MPa et plus. La détente de ces gaz crée un effort mécanique sur la surface du piston et oblige celui-ci à se déplacer vers le PMB, ainsi on obtient un travail mécanique. Le mouvement rectiligne du piston est transformé en mouvement de rotation du vilebrequin grâce à la liaison bielle-manivelle [2].

- Une quantité d'air (oxygène) suffisante,
- Porter le combustible à une température suffisante,
- Assurer le contact intime entre le combustible et l'air deCombustion.
- Le piston atteint son **PMH**.
- L'injecteur pulvérise le gasoil dans le cylindre.
- Cela provoque une combustion qui repousse le piston vers le bas.

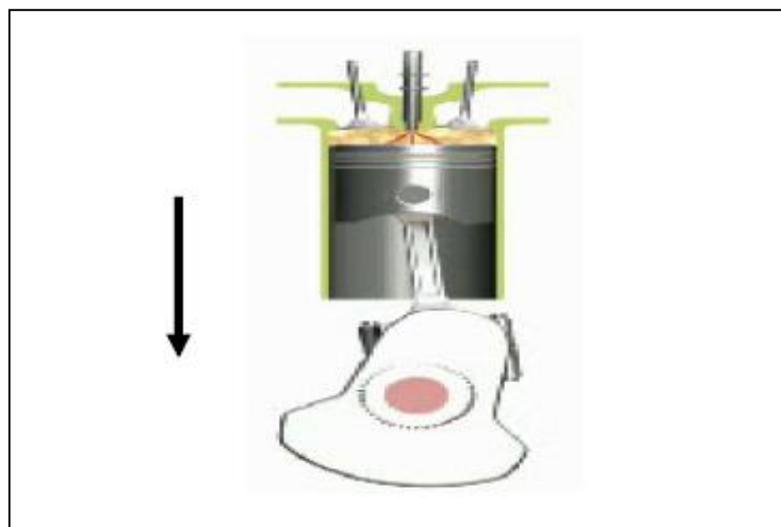


Fig.4- Combustion et Détente [3]

Quatrième temps : l'échappement (figure 5) :

Avec l'arrivée du piston au PMB, le temps de la détente se termine. A l'aide du système de distribution, la soupape de l'échappement s'ouvre et laisse sortir les gaz brûlés vers l'extérieur. Le déplacement du piston du PMB vers le PMH grâce à l'énergie du volant du vilebrequin, refoule ces gaz vers l'atmosphère. Lorsque le piston arrive au PMH, la soupape d'échappement se ferme. Ainsi, le cycle se termine et à partir de ce moment, un autre cycle commence. Les temps de l'admission, de la compression et de l'échappement sont appelés des temps résistants, parce que pour leur déroulement, il faut fournir de l'énergie. Cette énergie, comme il est dit ci-dessus, est assurée par l'énergie cinétique accumulée par le volant. Sur les quatre temps du cycle, seulement durant le temps de la détente, on peut extraire de travail mécanique. Ce temps est dit temps moteur [2].

- La soupape d'échappement s'ouvre.
- Le piston remonte de son **PMB**.
- Les gaz brûlés sont expulsés en dehors du cylindre.

Terminologies des moteurs:

- **PMH**: point mort haut. Position haute du piston.
- **PMB**: point mort bas. Position basse du piston .

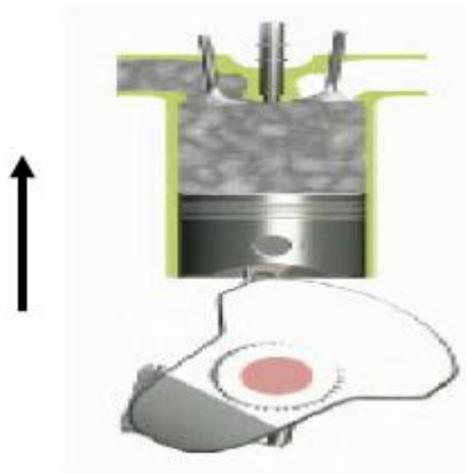


Fig.5- Echappement [3]

1.4.2. Principe de fonctionnement des moteurs à quatre temps, à essence et à gaz :

Ce type de moteurs peut être appelé moteur à allumage par étincelle. Le cycle se déroule en quatre temps. Le rôle de chaque temps est le même que celui dans le cas du type précédent. Mais à la différence du moteur diesel, dans le moteur à essence et à gaz, l'inflammation du combustible est assurée non pas par compression du fluide, mais par une étincelle électrique produite par le système d'allumage. C'est-à-dire, à la fin de la compression une étincelle apparaît pour déclencher la combustion.

Il y a aussi un autre type de moteur appelé moteur à injection directe, le fuel est directement injecté dans la chambre où il est atomisé par les fortes pressions d'injection que peuvent engendrer

les injecteurs (entre 50 et 100 bars). Le taux de compression de tels moteurs reste identique à celui des moteurs à essence. Le mode de combustion du mélange air-fuel est du type flamme de diffusion en écoulement turbulent. Le mélange est stratifié car certaines portions de la zone de combustion sont composées de particules de combustible alors que d'autres ont une forte proportion d'air. Le point d'allumage doit être situé à un endroit où les réactifs sont présents en quantités suffisantes pour que la réaction ait lieu. Cette position peut être partiellement contrôlée par le design de la tête du piston [18].

Les moteurs à gaz peuvent, aussi, fonctionner selon le principe du moteur diesel, où la combustion est généralement, déclenchée à l'aide d'une petite portion de gas-oil. Ce type de moteurs est habituellement, appelé dual-fuel [2].

1.4.3. Le cycle du moteur à deux temps

Enfin, dans les années 70, Yamaha invente l'admission par clapet. Les clapets sont des lamelles flexibles. Ces clapets recouvrent la lumière d'admission et lorsque la dépression est assez forte pour vaincre l'élasticité des lamelles, elles s'ouvrent automatiquement et laissent alors passer le mélange carburé. Lorsque la pression augmente, les lamelles se referment.

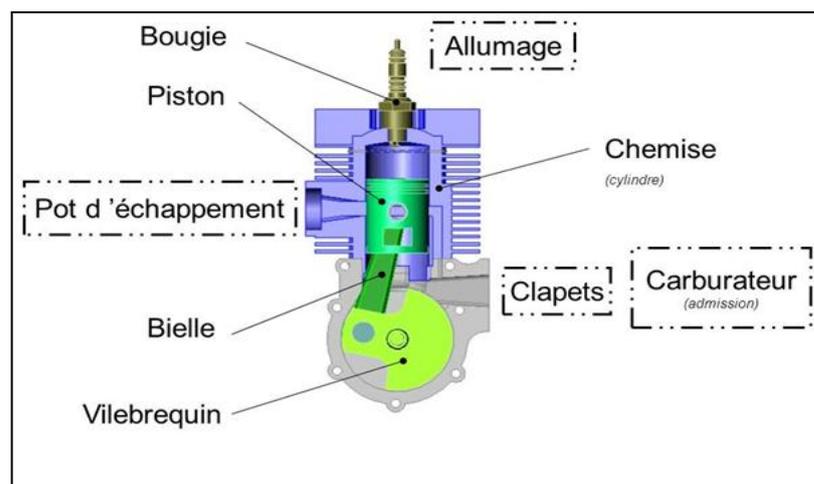


Fig.6. Le moteur 2 temps.

Un moteur à deux temps comporte des pistons qui se déplacent dans des cylindres. Chaque temps correspond à un mouvement du piston dans chacun des cylindres. Le premier temps est la compression et la combustion du mélange air-carburant. Le second temps est l'expulsion des gaz produits par la combustion et l'admission du mélange air-carburant [11].

Les différences majeures de structure du cylindre d'un moteur "2 temps" par rapport à un moteur "4 temps":

L'absence de soupape

Une lumière de transfert

Le piston peut être prolongé par une jupe

Le cylindre est percé de plusieurs lumières [12].

Les avantages et inconvénients du moteur deux temps

Avantage [19]:

- nombre de pièces en mouvement réduit
- mécanique relativement simple
- démarre plus facilement à froid que le moteur 4 temps
- peut fonctionner dans toutes les positions si il est équipé d'un carburateur à membranes.
- poids réduit.
- coût d'achat réduit.

Inconvénients 2:

- consommation élevée
- requière plus d'entretien que le 4 temps quand il est poussé à son maximum.
- ralenti irrégulier
- nettoyage et décalaminage de l'échappement périodique.

1.5. Organisation générale du moteur :

Pour le fonctionnement normal, selon le type, le moteur doit être équipé des systèmes et mécanismes suivants [2]:

1.5.1. Le bâti du moteur

Le bâti du moteur représente le corps qui porte ; intérieurement et extérieurement, les pièces et les mécanismes du moteur. Il est composé des éléments suivants :

Bloc carter

Le bloc carter. Intérieurement, est composé de cloisons, qui le partagent en compartiments, la partie supérieure constitue le bloc cylindre.

Culasse

La culasse est montés sur la partiesupérieure du bloc carter, Elle représente une plaque épaisse, généralement, en fonte.Des orifices et des passages pour les soupapes, injecteurs, les canaux d'admission et d'échappement, sont ménagés dans la culasse. Le plan inférieur de la culasse représente les parois supérieures de la chambre de combustion et donc ; elle doit être bien usiné, pour empêcher les fuites des gaz, entre le bloc carter et la culasse, on trouve un joint appelé joint de culasse.

Dans la culasse et le bloc cylindre, des conduites son aménagées pour la circulation du liquide de refroidissement, la partie de ces conduites qui entoure le cylindre, est appelée enveloppe d'eau [2]. Elle bon fonctionnement des soupapes, et porté la bougie pour les moteurs a allumage commandé [15].

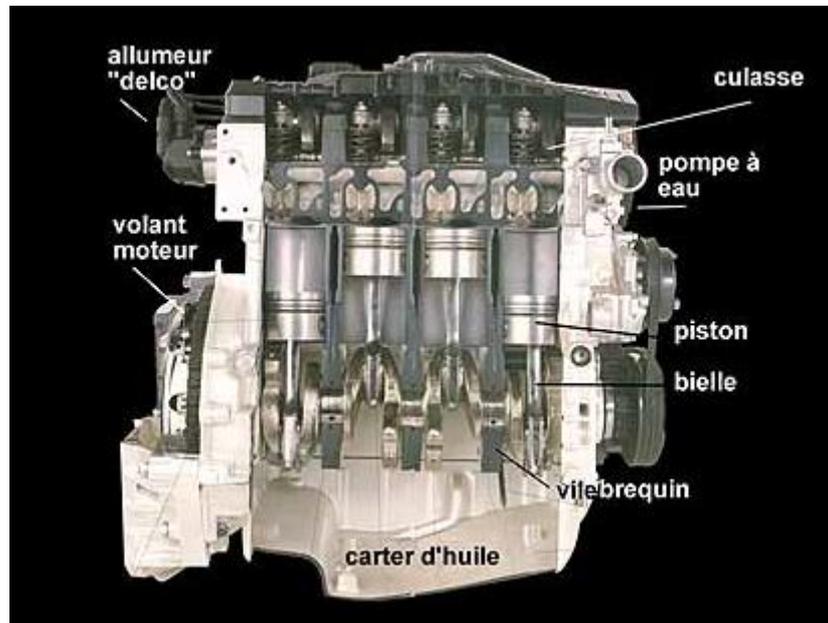


Fig.7-Schéma du Bloc moteur[16]

Cuvette inférieure

La Cuvette inférieure est montée sur le plan inférieur du bloc carter, D'une part, elle renferme la partie inférieure du moteur et d'autre part, elle joue le rôle du réservoir d'huile de graissage.

Carter de distribution

Ce carter renferme les pignons transmettant le mouvement de rotation du vilebrequin vers l'arbre de distribution, la pompe à eau et la pompe d'injection et autres

Carter du volant

Il enferme le volant et permet la fixation arrière du moteur sur le cadre.

Couvre culasse

Elle couvre la culasse et contient les pièces et éléments du système de commande.

1.5.2. Le système d'embellage :

Le système d'embellage a pour rôle de transformer le mouvement alternatif du piston en mouvement de rotation du vilebrequin, il est composé de [2]:

Cylindres

Les cylindres peuvent appartenir au même corps que le bloc cylindre ou être fabriqués séparément, dans le dernier cas, ils sont appelés chemises, cette méthode permet d'augmenter la durée de vie du moteur, si la chemise est entourée par le liquide de refroidissement, alors elle est dite chemise mouillée ou humide, les cylindres des moteurs à refroidissement par air, sont fabriqués l'un séparé de l'autre et ils sont équipés d'ailettes pour augmenter la surface de refroidissement.

Pistons

Les pistons ont pour rôle de transmettre les efforts exercés par les gaz, vers le vilebrequin à travers la bielle, la surface supérieure du piston, est appelée fond la partie supérieure est contenant les segments, est appelée la tête ou partie d'étanchéité. La partie inférieure est appelée partie de guidage ou jupe, la tête et la jupe contiennent des gorges pour recevoir les segments.

Axe du piston

L'axe du piston a pour rôle d'assurer la liaison mécanique entre la bielle et le piston, le déplacement longitudinal est empêché par des joncs d'arrêt.

Segments du piston

Selon la destination, les segments peuvent être de compression assurant l'étanchéité de la chambre de combustion en empêchant les fuites des gaz ou racleur empêchant la pénétration de l'huile de graissage vers la chambre de combustion.

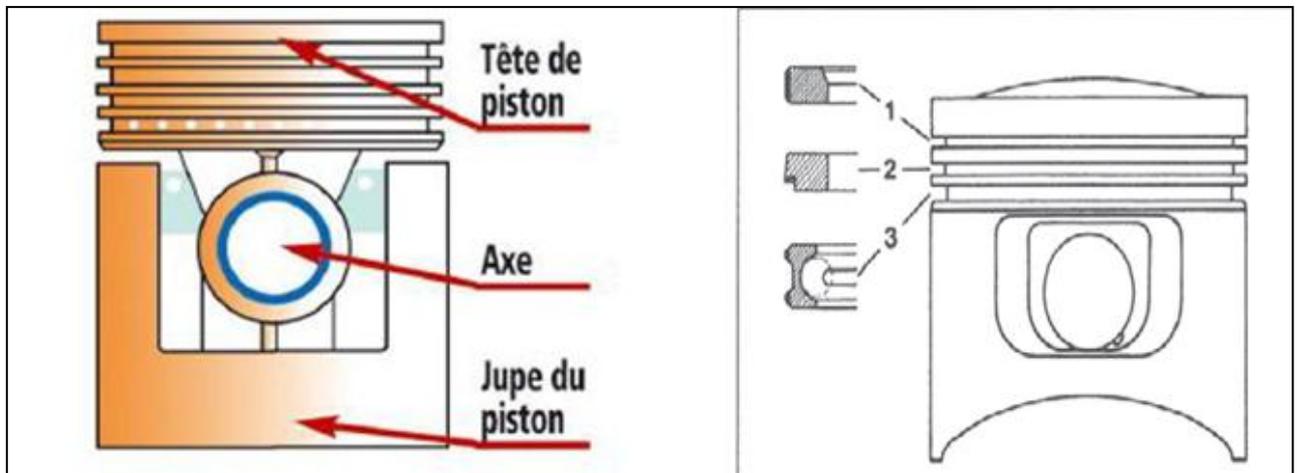


Fig.8-Piston avec segments du piston [5][13].

Bielles

La bielle assure la liaison mécanique entre le piston et vilebrequin, elle transmet l'effort des gaz agissant sur le piston vers le vilebrequin est appelée tête de la bielle [2].

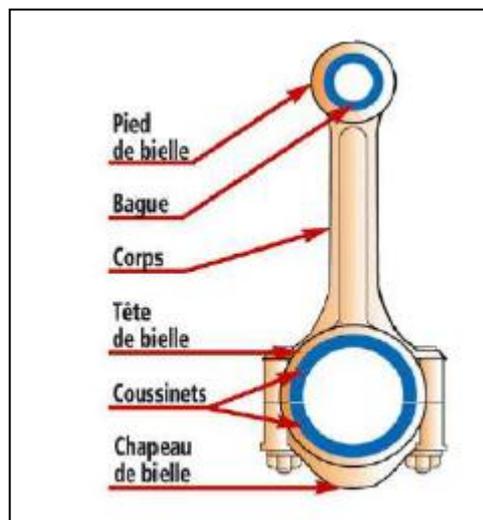


Fig.9- La bielle [5].

Vilebrequin

Le vilebrequin reçoit l'effort et le transforme en mouvement de rotation, il est composé des tourillons sur quoi repose le vilebrequin dans le bloc carter, des manetons recevant les bielles des flasques reliant les manetons aux tourillons des contrepoids pour l'équilibrage, le volant qui sert pour accumuler l'énergie cinétique dépensée durant les temps résistants.

Certains défauts du système d'embellage

- L'usure des pièces en frottement.
- La baisse de la compression dans le cylindre.
- Les fuites du liquide de refroidissement et de l'huile

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 [6].

Fonctionnement

Un vilebrequin est une tige ronde comportant une ou plusieurs manivelles qui sont reliées aux pistons mobiles par l'intermédiaire d'une bielle.

Quand le piston descend, la manivelle est repoussée et fait tourner le vilebrequin.

Le vilebrequin est un élément important dans tout ensemble générant un mouvement motorisé ; il doit être conçu au millimètre près car il est soumis à de fortes pressions. De plus, comme il atteint des vitesses de rotation élevées, toute erreur de construction ou de montage entraîne de grosses dégradations [6].



Fig.10—Schéma de fonctionnement de vilebrequin [13][6].

1.5.3. Le système de distribution

Le système de distribution a pour rôle d'assurer l'ouverture et la fermeture des soupapes de l'admission et de l'échappement dans des moments déterminés et pour des durées déterminées, il contient [2]:

Les soupapes

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.

Les soupapes se classent principalement en trois catégories : les soupapes à tige – aussi appelées soupapes à tulipe –, les soupapes rotatives et les soupapes à chemise louvoyante. Les plus répandues sont les soupapes à tige/tulipe qui équipent la quasi-totalité des moteurs à combustion interne actuels. Ces dernières soupapes sont le plus souvent actionnées par un arbre à cames et maintenues par un ou plusieurs ressorts de rappel [10]. Le guide et la queue de soupape doivent être lubrifiés lors du fonctionnement moteur [1].

Les culbuteurs

Le culbuteur est un levier à deux bras long se termine par un bec pour actionner la soupape, l'autre bras contient un trou pour engager la vis de réglage du jeu entre le bec du culbuteur et la soupape.

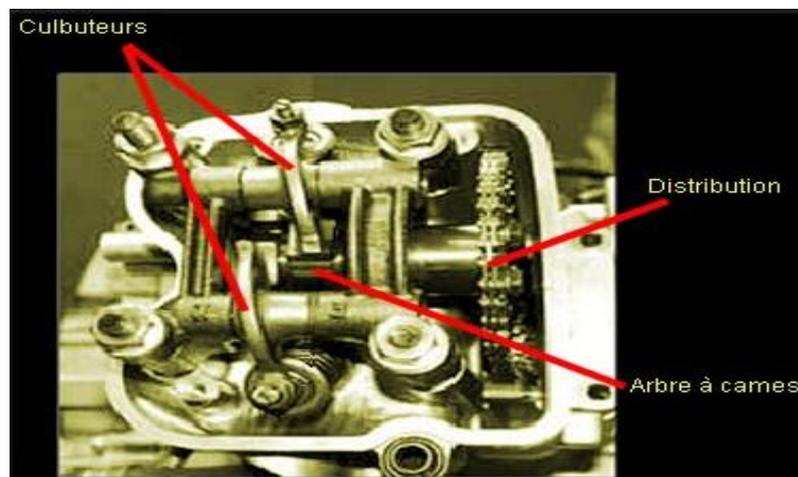


Fig.11- Les culbuteurs [17]

Les tiges

La tige transmet l'effort du poussoir au culbuteur, la partie inférieure sphérique, s'appuie sur le creux sphérique du poussoir.

Les poussoirs

Les poussoirs comportent des cuvettes sphériques pour recevoir les tiges.

L'arbre à cames

Le mouvement de rotation et la forme des cames assurant le mouvement des soupapes à des moments déterminés et pour des durées déterminées, dans certains moteurs sur l'arbre à cames on trouve l'excentrique de commande de la pompe à essence et les pignons d'entraînement de la pompe d'huile, dans les moteurs à deux temps, le vilebrequin et l'arbre à cames, tournent avec la même vitesse de rotation, alors que dans les moteurs à quatre temps lorsque le vilebrequin fait deux tours, l'arbre à cames fait un tour seulement.

Les pignons de distribution

Les pignons de distribution serrent à transmettre le mouvement de rotation du vilebrequin vers l'arbre à cames, la pompe d'injection et autres le montage des pignons doit se faire selon un repère.

Les ressorts

Les ressorts serrent à maintenir les soupapes dans la position fermée.

Le principe de fonctionnement du système de distribution est le suivant :

A l'aide des pignons l'arbre à cames est mis en rotation lorsque la came attaque le poussoir celui-ci soulève la tige et donc une extrémité du culbuteur, dans ce cas l'autre extrémité pousse la soupape vers le bas, en comprimant le ressort la soupape s'ouvre, elle se maintient ouverte tant que la came continue à attaquer le poussoir, dès que la came cesse d'attaquer le poussoir, à l'aide du ressort, la soupape revient à la position fermée.

Les défauts éventuels du système de distribution

- L'usure et brûlure de la portée et du siège de soupape.
- L'usure de la tige de la soupape.
- L'usure du bec du culbuteur.

Ces défauts provoquent des bruits la dégradation des performances économiques et énergétique du moteur, pour le fonctionnement normal du moteur, il est nécessaire de régler les jeux entre les soupapes et les culbuteurs.

1.5.4. Le système de refroidissement par liquide

Pour le fonctionnement normal le moteur doit être maintenu dans un régime thermique déterminé pour cette raison, le moteur est refroidi, le refroidissement exagéré ainsi que la surchauffe provoquent la dégradation des performances économique, le refroidissement du moteur peut être par liquide ou par air le refroidissement par liquide est obtenu par la circulation du liquide (eau ou antigel) dans les parties chaudes du moteur le système de refroidissement par liquide est composé de :

Radiateur

Le radiateur est un échangeur thermique qui assure le refroidissement du liquide, Il comprend deux réservoirs supérieur et inférieur un faisceau de tubes et des éléments de fixation..

Ventilateur

Le ventilateur placé devant le radiateur permet de refouler plus d'air à travers le radiateur et de cette manière accélérée le refroidissement du liquide le ventilateur peut être entraîné séparément à l'aide d'un moteur électrique ou par liaison mécanique au vilebrequin.

Pompe à eau

La pompe à eau est destinée pour refouler le liquide de refroidissement vers les parties lointaines du moteur, Elle est composée d'un arbre, d'une roue à aubages, d'un corps et de deux tubulure-l'inférieure est liée au radiateur et la supérieure, au thermostat.

Thermostat

Le thermostat a pour rôle de régler automatiquement la température du liquide de refroidissement, Il représente un soufflet rempli de liquide volatil (mélange d'eau et d'alcool éthylique) lorsque la température du liquide de refroidissement est inférieure à peu près de la température 70°C. la pression des vapeurs saturées du mélange dans le soufflet est basse le soufflet se comprime et la soupape principale du thermostat reste complétement fermée, alors que la soupape auxiliaire est ouverte dans ce cas, le liquide de refroidissement circule dans le petit circuit sans passer par le radiateur, lorsque la température du liquide de refroidissement dépasse les 70°C, les pressions des vapeurs saturées font allonger le soufflet provoquant donc l'ouverture de la soupape principale et ainsi ouvrant le passage du liquide de refroidissement vers le radiateur.

Dans le système de refroidissement rentre aussi les enveloppes d'eau les tuyaux de raccordement et le thermomètre [2].

1.5.5 Le système de refroidissement par air

Le refroidissement par air, est obtenu par soufflage des cylindres par l'air. Le flux d'air peut être créé par un ventilateur refoulant l'air sous une gaine. Le refroidissement peut être réglé. Automatiquement. Par la variation de la vitesse de rotation du ventilateur. Dans les moteurs à refroidissement par air. Les cylindre sont séparés l'un de l'autre et ils sont équipés par des ailettes pour augmenter la surface de refroidissement.

Les défauts éventuels du système de refroidissement

La surchauffe du moteur peut avoir comme cause :

- Le manque d liquide de refroidissement.
- Le thermostat défectueux et autre.

1.5.6 Le système de graissage

Le système de graissage est prévu pour réduire les frottements et en même temps. Pour participer au refroidissement des pièces en contacts. Une partie des pièces du moteur. Est graissée sous pression et une autre partie. Par barbotage. Les pièces graissées sous pression. Sont les paliers principaux. Les manetons, les pièces du mécanisme de commande des soupapes. Les douilles de

l'arbre à cames et les pignons les parois des cylindres et les pistons. Ainsi que les axes des pistons. Sont graissés par barbotage. Le système de graissage contient :

➤ **La pompe à huile**

La pompe à huile crée la circulation de l'huile dans le système de graissage.

➤ **Le radiateur d'huile**

Le radiateur d'huile sert à refroidir l'huile.

➤ **Le réservoir d'huile**

Généralement. En qualité de réservoir d'huile on utilise la cuvette inférieure du moteur.

➤ **Le filtre à huile**

Le filtre à huile a pour rôle de débarrasser l'huile de graissage des impuretés.

Le système de graissage contient aussi des rampes et de canaux pour la circulation de l'huile et un manomètre pour la mesure de la pression dans le système de graissage.

➤ **Les défauts éventuels du système de graissage**

La Durée de vie du moteur dépend. Entre autres. De la propreté de l'huile de graissage. Le manque d'huile ou l'utilisation de l'huile polluée contribue à l'usure rapide des pièces en frottement. Il faut systématiquement. Vérifier le niveau d'huile dans la cuvette inférieure ainsi que les étanchéités dans les raccords [2].

1.5.7 Le système d'alimentation dans les moteurs diesels

Le système d'alimentation est un ensemble d'organes destinés, après une épuration soignée. A introduire dans le cylindre. De l'air et une portion déterminée de combustible. Les éléments principaux de ce système sont :

❖ Le filtre à air

Ce filtre a pour rôle de débarrasser l'air des poussières en utilisant un des procédés suivant : par inertie, par filtration ou par procédé combiné.

❖ Le turbocompresseur

Les moteurs suralimentés sont équipés d'un turbocompresseur. Le compresseur permet d'accroître la puissance du moteur sans varier les dimensions principales, grâce à l'augmentation de la quantité de l'air introduit durant le cycle. En augmentant la quantité de l'air on peut introduire plus de combustible et obtenant ainsi plus de chaleur dégagée durant le cycle et donc plus de puissance. Le turbocompresseur est composé d'un corps. De deux roues à aubages montées sur le même arbre. Une représente le compresseur et l'autre la turbine.

❖ Le réservoir

Le combustible nécessaire pour le fonctionnement du moteur. Est conservé dans le réservoir.

❖ Les filtres à combustible

Habituellement les moteurs sont équipés de deux filtres : un prefiltre et un filtre fin. Montés en série. Le prefiltre sert à débarrasser le combustible des gros corps étrangers. Alors que le filtre fin le débarrasse des impuretés les plus fins ainsi que de l'eau

❖ La pompe d'alimentation

La pompe d'alimentation est généralement à piston. Elle aspire le combustible du réservoir et le refoule vers la pompe d'injection en passant par les filtres. Elle est montée sur le corps de la pompe d'injection

❖ Les injecteurs

Les injecteurs ont pour rôle d'introduire, dans la chambre de combustion, le combustible en état finement pulvérisé et sous une haute pression.

❖ La pompe d'injection

Le rôle de la pompe d'injection est d'introduire, dans les cylindres à des moments bien déterminés, des doses égales de combustible sous une haute pression [2].

1.5.8 Le système d'alimentation dans les moteurs à essence

A part le filtre à air, les filtres à combustible, le réservoir, le système d'alimentation dans les moteurs à essence contient :

➤ La pompe à essence

La pompe à essence est généralement à membrane. Elle aspire le combustible du réservoir et le refoule vers le carburateur en passant par les filtres.

➤ Le carburateur

Le processus de la formation du mélange air + combustible se déroule dans le carburateur. Un carburateur élémentaire contient les éléments suivants : la cuve à niveau constant, le diffuseur, le pulvérisateur et le papillon. Pour assurer un dosage normal du mélange sur les différents régimes de fonctionnement du moteur, le carburateur doit être équipé des dispositifs suivants :

- Le dispositif de dosage principal, qui a pour rôle d'assurer le fonctionnement du moteur à des régimes élevés de vitesse de rotation et de charge.
- Le dispositif de départ à froid, facilite le lancement du moteur à des températures « atmosphériques basses ».
- Le dispositif d'économiseur, sert à enrichir le mélange lors du fonctionnement du moteur à pleines charges.

- Le dispositif de la pompe de reprise sert à enrichir le mélange lors de l'ouverture du papillon [2].

1.5.9. Le système d'allumage dans les moteurs à essence

Dans les moteurs à essence, le mélange est enflammé par une étincelle venant de la bougie d'allumage, le système d'allumage sert à transformer le courant de basse tension en courant de haute tension et de répartir ce courant vers les cylindres, ce système contient [2].

- ❖ La batterie

La batterie a pour rôle de fournir le courant électrique pour le lancement du moteur.

- ❖ La génératrice

Durant la marche du moteur, la génératrice produit le courant électrique nécessaire pour le fonctionnement du moteur.

- ❖ La bobine d'allumage

Elle joue d'un transformateur le courant de basse tension en courant à haute tension

- ❖ L'allumeur

L'allumeur a pour rôle de répartir le courant électrique de haute tension entre les cylindres, il est composé du distributeur et du rupteur.

- ❖ Les bougies d'allumage

La bougie d'allumage fournit l'étincelle nécessaire pour l'inflammation du mélange.

Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre une description générale des moteurs à combustion interne, nous notons également que le moteur à combustion à quatre temps nécessite deux rotations de vilebrequin pour assurer les 4 temps contrairement le moteur à deux temps nécessite uniquement une rotation de vilebrequin.

Chapitre: 02

Les cycles thermodynamiques

Introduction

La théorie des moteurs à combustion interne, est basée essentiellement. Sur les lois de la thermodynamique et de la gazodynamique (mécanique des fluides). Les moteurs à combustion interne, fonctionnent selon un cycle composé de plusieurs opérations. La réalisation, de chaque opération, est accompagnée de pertes thermiques, gazodynamiques et mécaniques. L'étude des cycles thermodynamiques, offre la possibilité d'établir les chemins & suivre pour diminuer la valeur de ces pertes.

Durant l'étude des cycles thermodynamiques, on suppose que :

- La quantité et la composition du fluide moteur (gaz parfait) sont constantes, durant le cycle.
- La compression et la détente, se déroulent adiabatiquement.
- La combustion est remplacée par une simple introduction de la chaleur (q_1) à partir d'une source chaude.
- Les temps de l'échappement et de l'admission sont remplacés par une simple prise de la chaleur (q_1) par une source froide.

Le cycle thermodynamique est caractérisé par deux paramètres : le rendement thermique et la pression moyenne du cycle [4].

2.1 Le rendement thermique (η_t)

Le rendement thermique (η_t) caractérise l'économie du cycle du point de vue transformation de la chaleur en travail mécanique. Il représente le rapport de la quantité de chaleur transformée en travail mécanique (w) sur la quantité totale (q_1) de celle-ci, introduite durant le cycle :

$$\eta_t = \frac{w}{q_1} = \frac{(q_1 - q_2)}{q_1} \quad (5)$$

2.2 La pression moyenne du cycle (P_t)

La pression moyenne (P_t) caractérise le cycle du point de vue efficacité. Elle représente le rapport du travail mécanique (w) obtenu au cours du cycle, à la cylindrée unitaire du cylindre (V_h) :

$$P_t = \frac{w}{V_h} \quad (6)$$

Avec :

$$W = q_1 - q_2$$

Pour une cylindrée unitaire donnée, d'autant plus la pression moyenne du cycle est grande, d'autant plus le cycle est efficace. La pression moyenne du cycle, est liée aux dimensions principales du moteur, c'est à dire à la course du piston (c) et à l'alésage du cylindre (D).

A cause de ‘ l'idéalisation’ du cycle thermodynamique par les hypothèses faites ci- avant, les valeurs obtenues du rendement thermique et de la pression moyenne vont correspondre, évidemment, à des valeurs maximales, impossible à atteindre dans la pratique. Mais dont il faut au maximum, se rapprocher. Le but de l'étude des cycles thermodynamiques, est d'une part d'établir ces valeurs sous des conditions déterminées et d'autre part, de prévoir les chemins pour leur réalisation dans la pratique. D'où la nécessité de savoir les facteurs qui ont une influence sur le rendement et la pression moyenne du cycle. Cette connaissance permet d'agir sur tel ou tel facteur pour obtenir le résultat souhaité.

Selon la méthode de l'introduction de la chaleur, les cycles thermodynamiques appliqués dans la théorie des moteurs à combustion interne, sont divisés en trois types de cycles :

- Cycle à introduction isochore de la chaleur (cycle Otto ou de Beau de Rochas : moteurs à carburateur).
- Cycle à introduction isobare de la chaleur (cycle Diesel : moteurs diesel lents).
- Cycle à introduction mixte de laChaleur, à volume constant et puis à Pression constante ($v = \text{const}$, $p = \text{const}$.), (Cycle Diesel : moteurs diesels rapides) [4].

2.3Le cycle thermodynamique à introductionmixte de la chaleur

Pour l'étude des cycles thermodynamique On introduit les notions suivantes (figure 12):

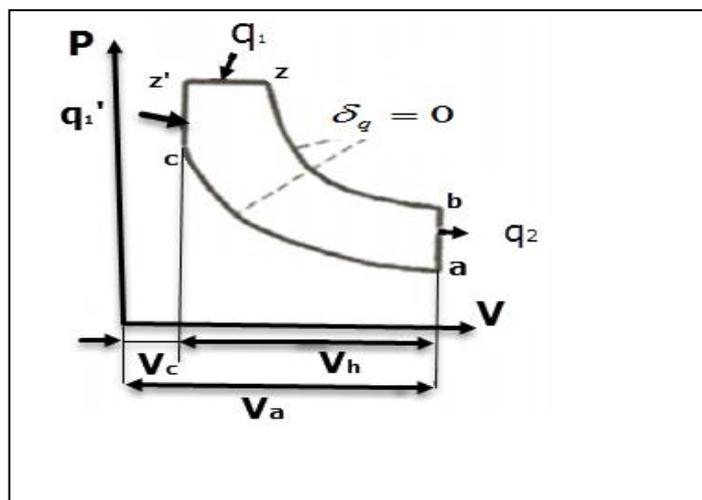


Fig.12-cycle thermodynamique à introduction Mixte de la chaleur [4].

2.3.1. Le taux de compression (ϵ)

La définition de ce paramètre a été donnée auparavant. Il représente le rapport du volume (V_a) du cylindre au début de la compression, sur le volume (V_c) à la fin de la compression :

$$\epsilon = \frac{V_a}{V_c} \quad (7)$$

2.3.2. Le taux de croissance de la pression (λ_p)

Le taux de croissance de la pression (λ_p) est le rapport de la pression (P_z) à la fin de l'introduction de la chaleur, sur la pression (P_c) en fin de compression :

$$\lambda_p = \frac{P_z}{P_c} \quad (8)$$

2.3.3. Le taux de la détente préliminaire (ρ_d)

Le taux de la détente préliminaire (ρ_d) représente le rapport du volume (V_z) du cylindre à la fin de l'introduction de la chaleur, au volume (V_c) de celui-ci en fin de compression :

$$\rho_d = \frac{V_z}{V_c} \quad (9)$$

2.3.4. Le taux de la détente postérieure (δ_d)

Le taux de la détente postérieure (δ_d) est le rapport du volume (V_b) du cylindre à la fin de détente, sur le volume (V_z) du cylindre à la fin de l'introduction de la chaleur.

$$\delta_d = \frac{V_b}{V_z} \quad (10)$$

2.3.5. L'exposant adiabatique (γ)

L'exposant adiabatique (γ) est défini par le rapport des capacités calorifiques, à pression constante (C_p) et à volume constant (C_v) :

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} \quad (11)$$

Le cycle thermodynamique à l'introduction mixte de la chaleur est montré sur la figure 12. Dans ce cycle, une partie de la chaleur est introduite à volume constant (q_1') et l'autre partie (q_1'') est introduite à pression constante. Il est composé des transformations suivantes :

- Une compression adiabatique (ac).
- Une entrée de chaleur (q_1') à volume constant (cz')
- Une introduction de la chaleur (q_1'') à volume constant (z'z).
- Une détente adiabatique (zb).
- Une prise de la chaleur (q_2) à volume constant (ba).

Dans les moteurs diesels rapides, la grande partie des processus du dégagement de la chaleur et de la formation du mélange air + combustible, se fait au fur et à mesure de l'introduction du combustible dans le cylindre. Et par conséquent, les premières portions du combustible se brûlent spontanément, presque à volume constant, alors que les autres portions se

brûlent par la suite et presque à pression constante. Pour cette raison, on suppose que les moteurs diesels rapides, fonctionnent selon le cycle à introduction mixte de la chaleur [4].

2.4 Le cycle thermodynamique à introduction isochore de la chaleur

Le schéma de ce cycle est monté sur la figure 13. Il est composé des opérations suivantes :

- Une compression adiabatique (ac).
- Une introduction de la chaleur (q_1) à volume constant (cz) à partir d'une source chaude.
- Une détente adiabatique (zb).
- Une prise de la chaleur (q_2) à volume constant (ba) par une source froide.

Dans les moteurs à essence, le mélange est déjà préparé dans le carburateur et l'inflammation est assurée par l'étincelle et donc, la grande partie de la chaleur se dégage spontanément, presque à volume constant. Pour cette raison, on suppose que les moteurs à carburateur, fonctionnent selon le cycle à introduction de la chaleur à volume constant [4].

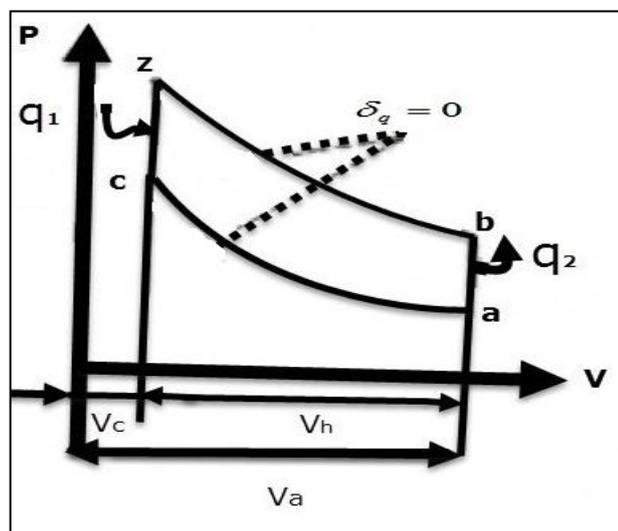


Fig.13- cycle thermodynamique à introduction Isochore de la chaleur [4]

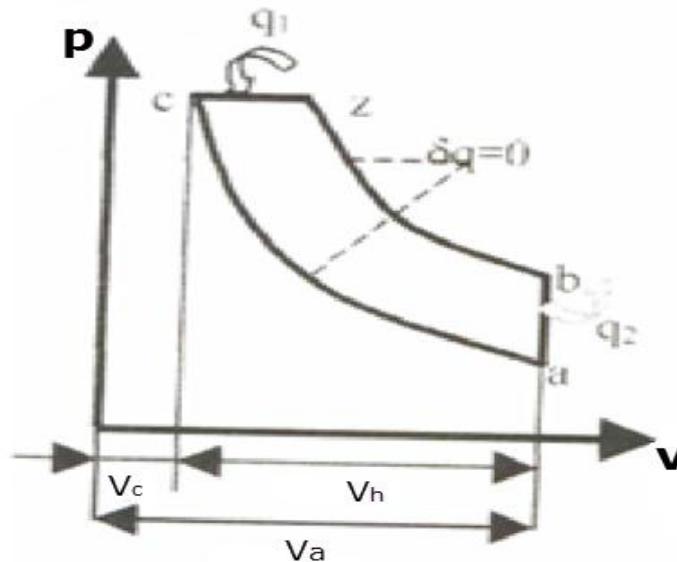
2.5 Le cycle thermodynamique à introduction isobare de la chaleur

Ce cycle est représenté sur la figure 14. Il est composé dans l'ordre suivant, des transformations suivantes :

- Une compression adiabatique (ac).
- Une introduction de la chaleur (q_1) à volume constant (cz).
- Une détente adiabatique (zb).
- Une prise de la chaleur (q_2) à volume constant (ba).

Dans les moteurs diesels lents, c'est-à-dire, qui ont des vitesses moyennes du piston relativement petites de l'ordre de 5 m/s, le dégagement de la chaleur s'effectue presque à pression

constante. Pour cette raison, on suppose que ce type de moteurs, fonctionne selon le cycle à introduction de la chaleur à pression constante.



**Fig.14- cycle thermodynamique à introduction
Isobare de la chaleur [4]**

2.6 Formules de calcul du rendement thermique

Pour développer la formule du rendement thermique, utilisons l'expression (5) en représentant les chaleurs (q_1' , q_2'' et q_2) en fonction des températures et des capacités calorifiques [4]:

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1}$$

avec :

$$q_1 = q_1' + q_2'' = C_v (T_{z'} - T_c) + C_p (T_z - T_{z'}) \quad (12)$$

$$q_2 = C_v (T_b - T_a) \quad (13)$$

Alors :

$$\eta_t = 1 - \frac{c_v (T_b - T_a)}{c_v (T_{z'} - T_c) + C_p (T_z - T_{z'})} \quad (14)$$

Représentons les températures (T_z , $T_{z'}$, T_c , T_b) en fonction de la température (T_a) en tenant compte que, dans le cylindre durant le cycle, la quantité de kmols du fluide, est constante :

Selon la loi de la compression adiabatique (ac) on a :

$$T_c = T_a \varepsilon^{\gamma-1} \quad (15)$$

Selon les équations de l'état, aux points (z') et (c) :

$$P_{z'} V_{z'} = R T_{z'} \quad (16)$$

et

$$P_c V_c = R T_c \quad (17)$$

Sachant que $(P_{z'} / P_c = \lambda_p)$; $(V_{z'} = V_c)$ et à l'aide de l'expression (17) on déduit la température

$(T_{z'})$:

$$T_{z'} = \lambda_p \cdot T_a \varepsilon^{\gamma-1} \quad (18)$$

A partir des équations de l'état au point (z') , (expression (17) et au point (z) :

$$P_z V_z = R T_z \quad (19)$$

Sachant que $(V_z / V_{z'} = V_z / V_c = \rho_d)$, avec l'expression (18), on obtient la température (T_z) :

$$T_z = \rho_d \cdot \lambda_p \cdot T_a \varepsilon^{\gamma-1} \quad (20)$$

Selon la loi de la détente adiabatique (z_a) :

$$T_b = T_z \left(\frac{V_z}{V_b} \right)^{\gamma-1} \quad (21)$$

Ou bien :

$$T_b = T_z \left\{ \left(\frac{V_z}{V_c} \right) \left(\frac{V_c}{V_b} \right) \right\}^{\gamma-1}$$

Avec: $(V_z / V_c = \rho_d \text{ et } V_z / V_b = 1 / \varepsilon)$ et l'expression (20) on déduit la température (T_b) :

$$T_b = \rho_d^\gamma \cdot \lambda_p \cdot T_a \quad (22)$$

Le remplacement des températures $(T_c, T_{z'}, T_z, T_b)$ à partir des expressions (17), (18), (20) et (19) dans la formule (16) du rendement thermique, nous donne :

$$\eta_t = 1 - \frac{C_v (\rho_d^\gamma \cdot \lambda_p \cdot T_a - T_a)}{C_v (\lambda_p \cdot T_a \varepsilon^{\gamma-1} - T_a \varepsilon^{\gamma-1}) + C_p (\rho_d \cdot \lambda_p \cdot T_a \varepsilon^{\gamma-1} - \lambda_p \cdot T_a \varepsilon^{\gamma-1})}$$

Après quelques simples simplifications, et en remplaçant $(C_p / C_v = \gamma)$ on obtient la formule de calcul du rendement thermique du cycle à introduction mixte de la Chaleur :

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\gamma-1}} \frac{\lambda_p \cdot \rho_d^\gamma - 1}{(\lambda_p - 1) + \gamma \cdot \lambda_p (\rho_d - 1)} \quad (23)$$

2.6.1. Premier cas particulier : la formule du rendement thermique du cycle à introduction isochoire de la chaleur

La formule du rendement thermique du cycle à introduction de la chaleur à volume constant, peut être obtenue en remplaçant ($\rho_d = 1$) dans la formule (22) :

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\gamma-1}} \quad (24)$$

2.6.2. Deuxième cas particulier : la formule du rendement thermique du cycle à introduction isobare de la chaleur

La formule du rendement du cycle à introduction de la chaleur à pression constant, peut être aussi obtenue à partir de l'expression (22) par le remplacement de ($\lambda_p = 1$) :

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\gamma-1}} \frac{[\rho_d^\gamma - 1]}{[\gamma \cdot (\rho_d - 1)]} \quad (25)$$

2.7 Formules de calcul de la pression moyenne du cycle

Pour obtenir la formule de calcul de la pression moyenne du cycle à introduction mixte de la chaleur (P_t) utilisons la formule (6) [4] :

$$P_t = \frac{W}{V_h}$$

Ou bien, sachant que :

$$W = \eta_t \cdot q_1 \quad (26)$$

On a :

$$P_t = \frac{\eta_t \cdot q_1}{V_h} \quad (27)$$

En remplaçant (q_1) et les températures (T_c, T_z, T_z) à partir des expressions (12), (17), (20) et (19) dans l'expression (27) de la pression moyenne (P_t) on obtient :

$$P_t = \frac{1}{V_h} \left\{ c_v (\lambda_p \cdot T_a \varepsilon^{\gamma-1} - T_a \varepsilon^{\gamma-1}) + c_p (\rho_d \cdot \lambda_p \cdot T_a \varepsilon^{\gamma-1} - \lambda_p \cdot T_a \varepsilon^{\gamma-1}) \right\} \eta_t$$

Sachant que : ($c_v / c_p = \gamma$) on a :

$$P_t = \frac{1}{V_h} \left\{ \eta_t c_v T_a \varepsilon^{\gamma-1} \right\} \left\{ (\lambda_p - 1) + \gamma \cdot \lambda_p \cdot (\rho_d - 1) \right\} \quad (28)$$

En remplaçant dans cette expression :

$$V_h = V_a - V_c = V_a \left(1 - \frac{V_c}{V_a} \right) = V_a \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} \quad (29)$$

En (Ta) à partir de l'équation de l'état au point (a) :

$$T_a = P_a \frac{V_a}{R} \quad (30)$$

ainsi que :

$$R = C_p - C_v = C_v \left(\frac{C_p}{C_v} - 1 \right) = C_v (\gamma - 1) \quad (31)$$

On obtient, finalement, la formule de la pression moyenne du cycle à introduction mixte de la chaleur :

$$P_t = \frac{P_a}{\gamma - 1} \frac{\varepsilon^\gamma}{\varepsilon - 1} \left[(\lambda - 1) + \gamma \cdot \lambda_p \cdot (\rho_d - 1) \right] \eta_t \quad (32)$$

2.7.1. Premier cas particulier : la formule de la pression moyenne du cycle à introduction isochore de la chaleur

La formule de calcul de la pression moyenne du cycle à introduction de la chaleur à volume constant, peut être obtenue en remplaçant ($\rho_d = 1$) dans la formule (32) :

$$P_t = P_a \frac{\varepsilon^\gamma}{\varepsilon - 1} \frac{\lambda_p - 1}{\gamma - 1} \eta_t \quad (33)$$

2.7.2. Deuxième cas particulier : la formule de la pression moyenne du cycle à introduction isochore de la chaleur

La formule de la pression moyenne du cycle à introduction de la chaleur à pression constant, est obtenue à partir de l'expression (33) par le remplacement de ($\lambda_p = 1$):

$$P_t = P_a \frac{\varepsilon^\gamma}{\varepsilon - 1} \frac{\gamma \cdot (\rho_d - 1)}{\gamma - 1} \eta_t \quad (34)$$

2.8 Etude de l'influence de divers facteurs sur le rendement thermique et la pression moyenne

Cette étude permet de savoir de quel paramètre il faut agir pour augmenter le rendement thermique et la pression moyenne [4].

2.8.1. Premier cas-Le cycle à introduction isochore de la chaleur

2.8.1.1. Le rendement thermique

L'analyse de la formule (34) montre que le rendement de ce cycle dépend du taux de compression et de l'exposant adiabatique.

La valeur de l'exposant adiabatique, dépend de la nature du fluide moteur. D'autant plus, les propriétés du fluide moteur se rapprochant de celles de l'air, d'autant plus l'exposant adiabatique accroît. Avec la croissance de cet exposant le rendement thermique (η_t) augmente.

Le taux de compression est un paramètre géométrique. L'augmentation de ce paramètre jusqu'à une certaine valeur, assure une croissance considérable du rendement thermique. Après cette valeur, la croissance du rendement thermique devient moins sensible.

La croissance du rendement thermique à l'aide de l'augmentation du taux de compression, est un moyen efficace qui peut être réalisé dans la pratique. Cependant, il faut prendre en considération qu'avec l'augmentation du taux de compression, la pression (P_c) et la température (T_c) dans le cylindre vont considérablement, accroître. Ce qui mène à la croissance des contraintes mécaniques et thermique.

Sachant que ce cycle est réalisé dans les moteurs à essence, il faut souligner d'une part que, malgré que la valeur limite du taux de compression dans les moteurs à essence n'est pas assez grande, de l'ordre de 11, néanmoins, les pièces du moteur doivent être conçues supporter ce contraintes. Et d'autres parts, qu'avec la croissance du taux de compression, la pression (P_c) et la température (T_c) à la fin de la compression, vont accroître sensiblement. Ce-ci peut provoquer l'auto-inflammation du mélange. Le danger de l'apparition de la détonation, accroît. Et par conséquent, la valeur du taux de compression doit être mise en accord avec la valeur de l'indice d'octane du combustible. Plus que le taux de compression est grand, plus que la valeur de l'indice d'octane doit être aussi, grande.

Au total :

$$\eta_t = f(\varepsilon, \gamma)$$

$$\nearrow (\gamma) \Rightarrow \nearrow (\eta_t)$$

$$\nearrow (\varepsilon) \Rightarrow \nearrow (\eta_t)$$

Cependant,

$\nearrow (\varepsilon) \Rightarrow \nearrow (P_c) \text{ et } T_c$: le danger des contraintes mécaniques et thermiques inadmissibles et d'autre part,

$\nearrow (\varepsilon) \Rightarrow \nearrow (P_c) \text{ et } (T_c)$: le danger de l'apparition de la détonation [4].

2.8.1.2. La pression moyenne

À part l'exposant adiabatique et le taux de compression, la pression moyenne de ce cycle dépend du rendement thermique (η_t) du taux de croissance de la pression (λ_p) de la pression initiale du cycle (P_a).

Avec la croissance du rendement thermique (η_t), de l'exposant adiabatique et du taux de compression, la pression moyenne de ce cycle accroît.

La valeur du taux de croissance de la pression (λ_p) est proportionnelle à la quantité de la chaleur introduite, à volume constant, durant le cycle. Donc elle est proportionnelle à la chaleur sur le moteur. Avec la croissance de (λ_p) la pression moyenne de ce cycle augmente.

Dans la réalité, la pression initiale du cycle (P_a) correspond à la pression dans le cylindre à la fin de l'admission (P_a), d'autant plus, cette pression est grande, d'autant plus la pression moyenne du cycle (P_t) le devient aussi.

La valeur de la pression à la fin de l'admission, dépend entre autres, du paramètre du fluide à l'entrée du moteur. Il est possible d'accroître cette pression en comprimant le fluide avant son arrivée dans le cylindre, dans un compresseur. Ceci est réalisé dans la pratique à l'aide d'un compresseur mis en mouvement, soit par une liaison mécanique au vilebrequin ou mieux, à l'aide d'une turbine utilisant les gaz d'échappement du moteur. Dans le second cas l'ensemble compresseur – turbine est appelé *turbocompresseur*. L'augmentation de la pression du fluide moteur à l'admission à l'aide d'un compresseur est appelé *suralimentation*. La suralimentation permet d'accroître la pression moyenne du cycle, donc et la puissance du moteur :

$$P_t = f(\varepsilon, \gamma, \eta_t, \lambda_p, P_a)$$

$$\nearrow (\eta_t) \Rightarrow \nearrow (P_t)$$

$$\nearrow (\gamma) \Rightarrow \nearrow (P_t)$$

$$\nearrow (\varepsilon) \Rightarrow \nearrow (P_t)$$

$$\nearrow (\lambda_p) \Rightarrow \nearrow (P_t)$$

$$\nearrow (P_a) \Rightarrow \nearrow (P_t) : \text{à l'aide de suralimentation [4]}$$

2.8.2. Deuxième cas- Le cycle à l'introduction isobare de la chaleur

2.8.2.1. Le rendement thermique

Dans ce cas, le rendement thermique dépend de l'exposant adiabatique (γ), du taux de compression (ε) et du taux de détente préliminaire (ρ_d).

Comme dans le cas précédent, l'augmentation de l'exposant adiabatique (γ) et du taux de compression (ε), assurant la croissance du rendement thermique.

La valeur du taux de détente préliminaire (ρ_d) dépend de la quantité de la chaleur introduite à pression constante et donc de la charge sur le moteur. L'analyse de la formule (25) montre, qu'avec la croissance du taux de détente préliminaire et donc de la charge sur le moteur, le rendement thermique décroît.

Dans ce cycle, le rendement thermique est maximal lorsque la valeur du taux de détente préliminaire, est minimale. C'est-à-dire, lorsque la charge sur le moteur est minimale est donc, lorsque le moteur fonctionne à vide, où toute l'énergie développée par le moteur est consommée, uniquement pour vaincre les frottements et pour la mise en mouvement des mécanismes et dispositifs du moteur[4].

Pour les mêmes conditions, d'après les formules du rendement thermique, la valeur de celui-ci dans le cycle à introduction de la chaleur à volume constant est supérieur de celui du cycle à introduction de la chaleur à pression constante, puisque le terme $(\rho_d^\gamma - 1)/\gamma \cdot (\rho_d - 1)$ est toujours supérieur à un.

$$\eta_t \Rightarrow f(\varepsilon, \gamma, \rho_d)$$

$$\nearrow (\gamma) \Rightarrow \nearrow (\eta_t)$$

$$\nearrow (\varepsilon) \Rightarrow \nearrow (\eta_t)$$

$$\nearrow (\rho_d) \Rightarrow \searrow (\eta_t)$$

2.8.2.2. La pression moyenne

A part le taux de compression et l'exposant adiabatique, la pression moyenne de ce cycle dépend aussi du rendement thermique (η_t), de la pression initiale du cycle (P_a) et du taux de détente préliminaire (ρ_d).

Comme dans le cas précédent, l'augmentation de l'exposant adiabatique (γ), du taux de compression (ε), du rendement thermique ainsi que la pression initiale du cycle (P_a), assurent la croissance de la pression moyenne de cycle.

L'analyse de la formule (33) montre, qu'avec la croissance du taux de détente préliminaire (ρ_d) et donc de la charge sur le moteur, la pression moyenne de ce cycle augmente :

$$P_t = f(\varepsilon, \gamma, \eta_t, \rho_d, P_a)$$

$$\nearrow (\gamma) \Rightarrow \nearrow (P_t)$$

$$\nearrow (\varepsilon) \Rightarrow \nearrow (P_t)$$

$$\nearrow (\eta_t) \Rightarrow \nearrow (P_t)$$

$$\nearrow (P_a) \Rightarrow \nearrow (P_t)$$

$$\nearrow (\rho_d) \Rightarrow \nearrow (P_t)$$

2.8.3. Troisième cas- Le cycle à introduction mixte de la chaleur

2.8.3.1. Le rendement thermique

Selon la formule (24) le rendement thermique du cycle à introduction mixte de la chaleur dépend de l'exposant adiabatique (γ), du taux de compression (ε), du taux de croissance de la pression (λ_p) et du taux de détente préliminaire (ρ_d).

Il faut constaté qu'en particulier, pour le cycle à introduction mixte de la chaleur, l'augmentation du taux de compression est accompagnée d'une croissance considérable de la pression (P_z) et de la température (T_z) à la fin de l'introduction de la chaleur. Ceci peut créer des

contraintes mécaniques et thermiques inadmissibles sur les pièces du moteur. Et par conséquent, durant la construction, la valeur maximale du taux de compression est limité par la valeur des contraintes mécaniques et thermiques, alors que, la valeur minimale de ce paramètre est la limité par la possibilité de lancement à froid du moteur. Cette valeur est mise en accord avec la valeur de l'indice de cétane du combustible. Plus que le taux de compression est petit, plus que la valeur de l'indice de cétane doit être grande.

La valeur du taux de compression de la pression (λ_p) dépend de la quantité de la chaleur introduite à volume constant, alors que la valeur du taux de détente préliminaire (ρ_d) dépend de celle introduite par la pression constante. Pour une quantité constante de la chaleur totale introduite durant le cycle, l'augmentation de la quantité de a chaleur introduite à volume constant, avec une diminution correspondante de la chaleur introduite à pression constante, le rendement thermique de ce cycle augmente.

$$\eta_t = f(\varepsilon, \gamma, \lambda_p, \rho_d)$$

Comme dans le cas précédent, on a :

$$\nearrow (\gamma) \Rightarrow \nearrow (\eta_t)$$

$$\nearrow (\varepsilon) \Rightarrow \nearrow (\eta_t)$$

$$\nearrow (\varepsilon) \Rightarrow \nearrow (P_z) \text{ et } (T_z) \quad : \text{ Le danger des contraintes inadmissibles.}$$

$$\text{Pour } (q_1) = \text{const.} : \{ \nearrow (\lambda_p \text{ avec } \searrow (\rho_d)) \} \Rightarrow \nearrow (\eta_t)$$

2.8.3.2. La pression moyenne

A part les facteurs qui influencent sur le rendement, la pression moyenne du cycle dépend aussi du rendement thermique (η_t) et de la pression initial du cycle (P_d). Pour les mêmes raisons que le cycle précédant, on a :

Pour une quantité constante de la chaleur introduite durant le cycle, l'augmentation du taux de croissance de la pression (λ_p) avec la diminution correspondante du taux de détente préliminaire (P_d), la pression moyenne du cycle augmente.

Comme il est dit ci- avant, l'augmentation de la pression initiale du cycle dans la pratique, peut être assurée par la suralimentation.

D'après les formules, pour les mêmes conditions, la valeur du rendement thermique du cycle à introduction mixte de la chaleur, est inférieure de celle du cycle à volume constant mais, supérieure de celle du cycle à introduction de la chaleur à pression constante [4].

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les lois fondamentales des cycles thermodynamiques des moteurs à combustion interne à quatre temps. On peut conclure a partir de ces lois que : la valeur du rendement thermique du cycle a introduction mixte de la chaleur est inférieure de celle du cycle a volume constant mais supérieure de celle du cycle a introduction de la chaleur a pression constante.

Chapitre : 03

**Modélisation et résultats par
logiciel Solidworks**

Introduction

On présente dans ce chapitre la modélisation et l'étude des mouvements du moteur quatre temps montré sur la Fig.15, par logiciel SolidWorks.

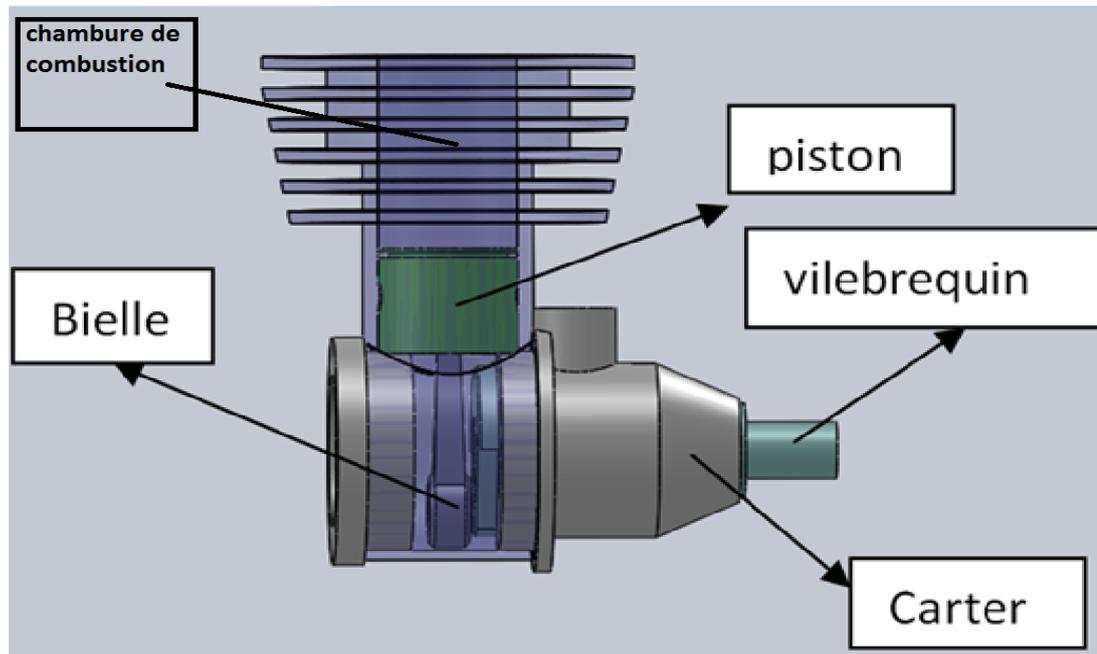


Fig.15- Moteur monocylindre

Le système montré dans la **Fig.15**, se compose de Cinq pièces fondamentales : vilebrequin, bielle, piston, carter et chambre de combustion.

La simulation s'est faite par une vitesse de rotation du vilebrequin de 50 tr/min et les graphes suivants montrent les résultats de simulation :

3.1. Vilebrequin

Le vilebrequin est une pièce de moteur à combustion interne. C'est un élément principal du système bielle-manivelle.

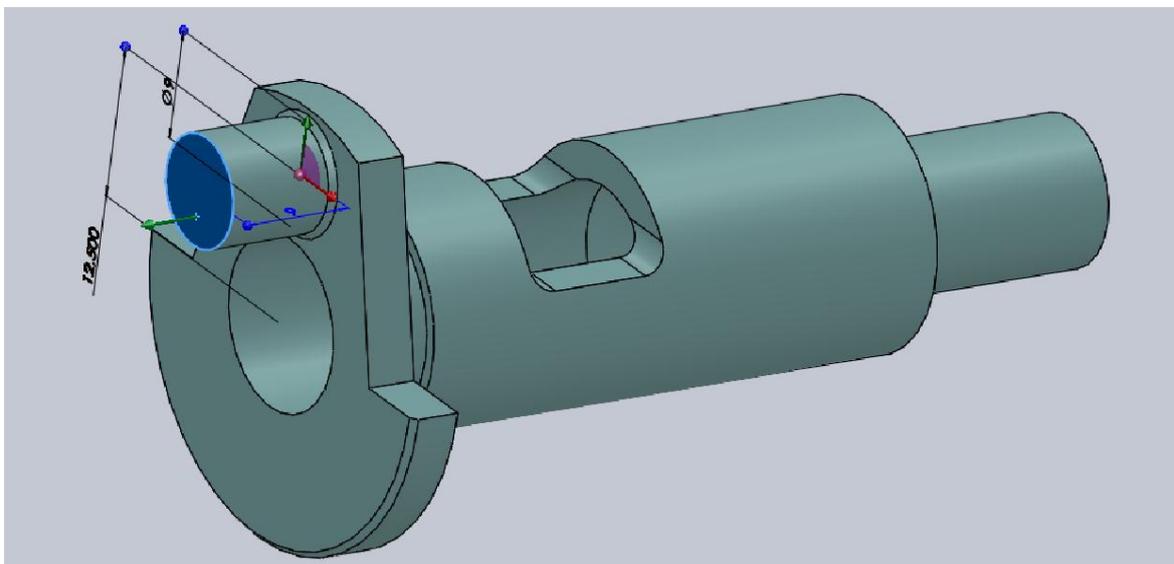


Fig.16- Le Vilebrequin

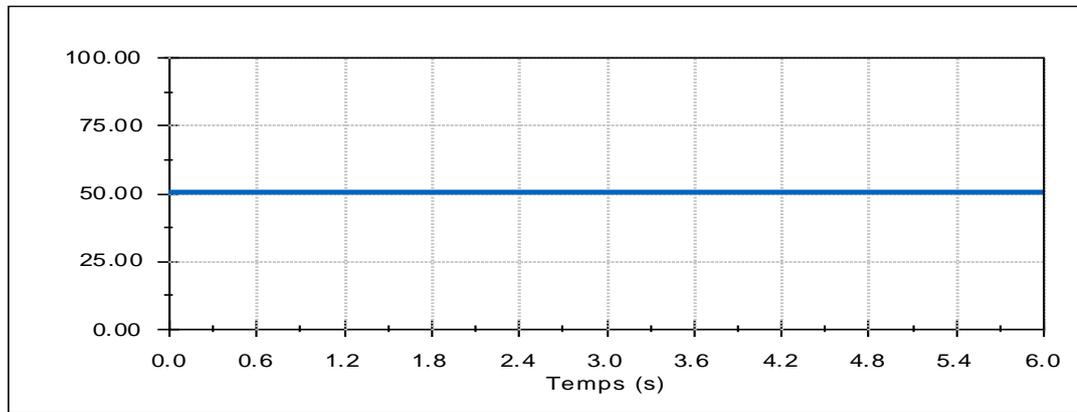


Fig.17-Vitesse de rotation du vilebrequin

3.2. La Bielle

La bielle assure la liaison mécanique entre le piston animé d'un mouvement rectiligne, et le vilebrequin doté d'un mouvement de rotation. Elle est réalisée en acier, elle doit pouvoir résister à des efforts de compression très élevés.

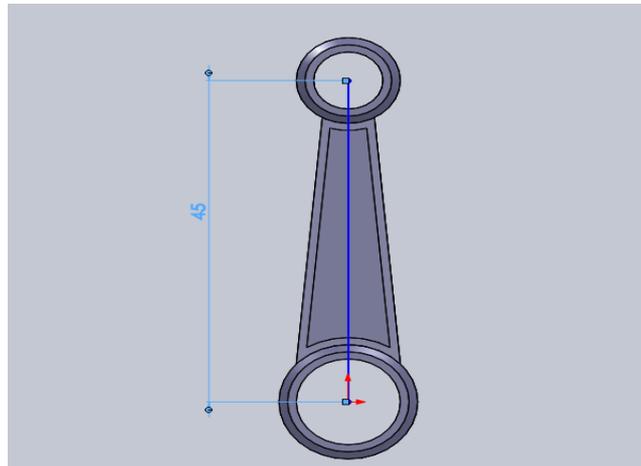


Fig.18- Bielle

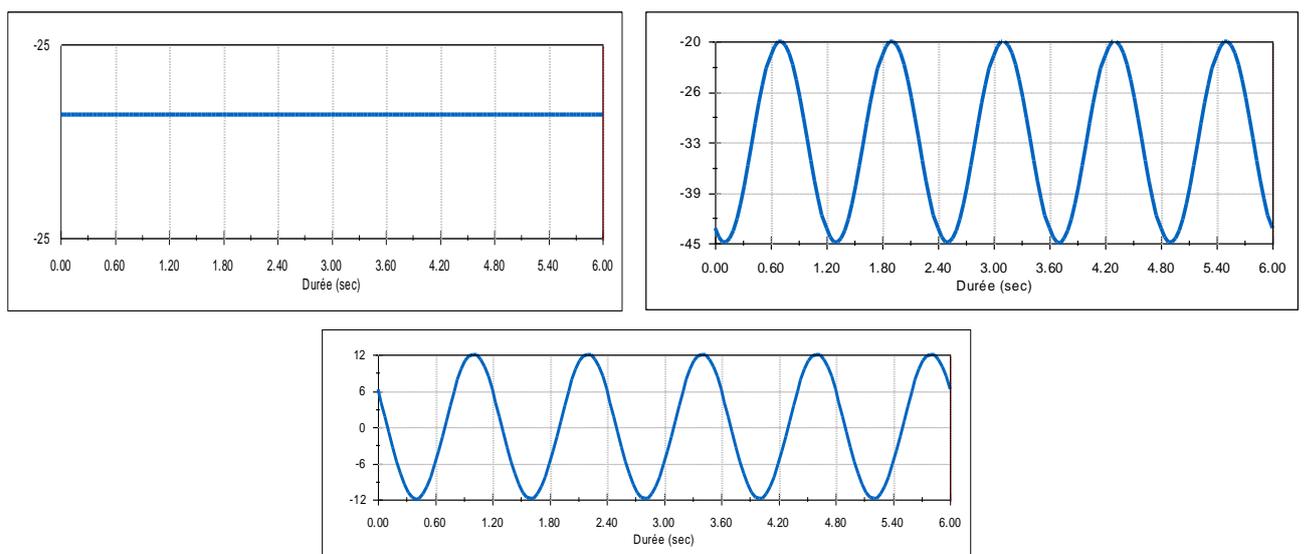


Fig.19-Les déplacements linaires de la bielle

Remarque : le résultat indique les valeurs maximales pour le déplacement linaires de la bielle:-20 mm Pour l'axe y et 12 mm pour l'axe z.

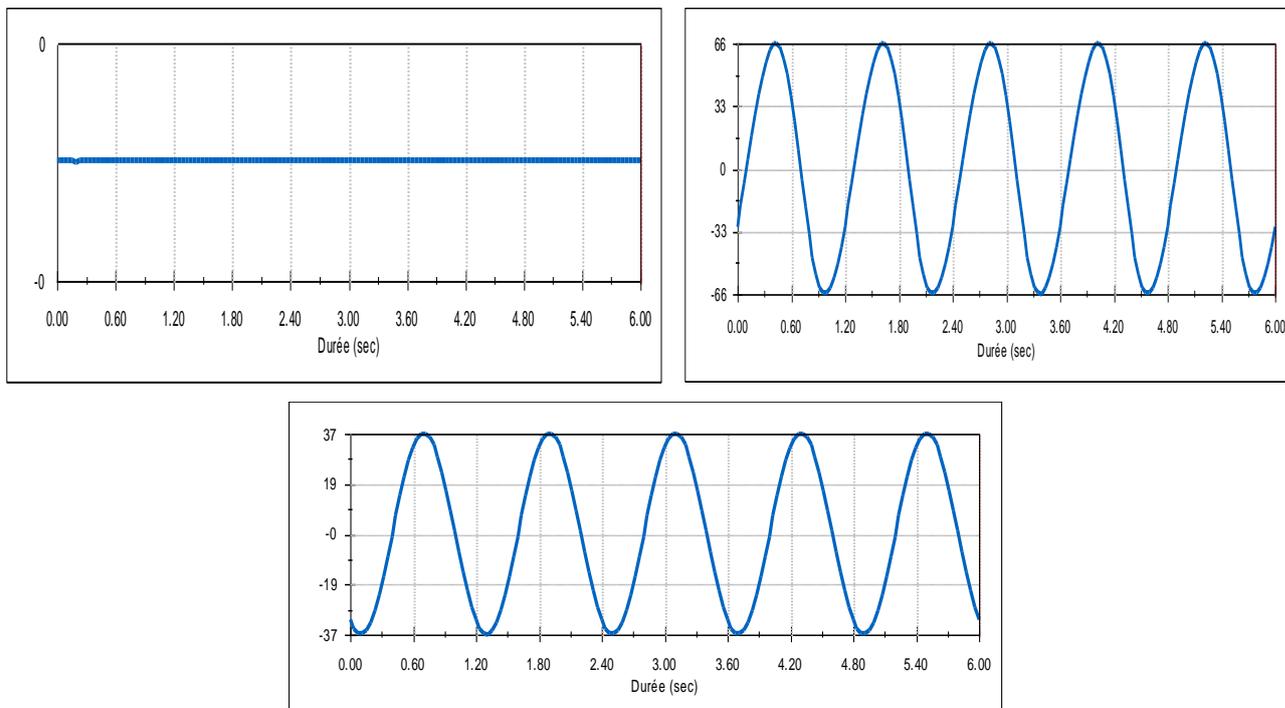


Fig.20-Les déplacements Vitesse lineaire de la bielle

Remarque : Les valeurs maximales pour la vitesse lineaire : 66 mm par sec pour l'axe y et 37 mm par sec pour l'axe z.

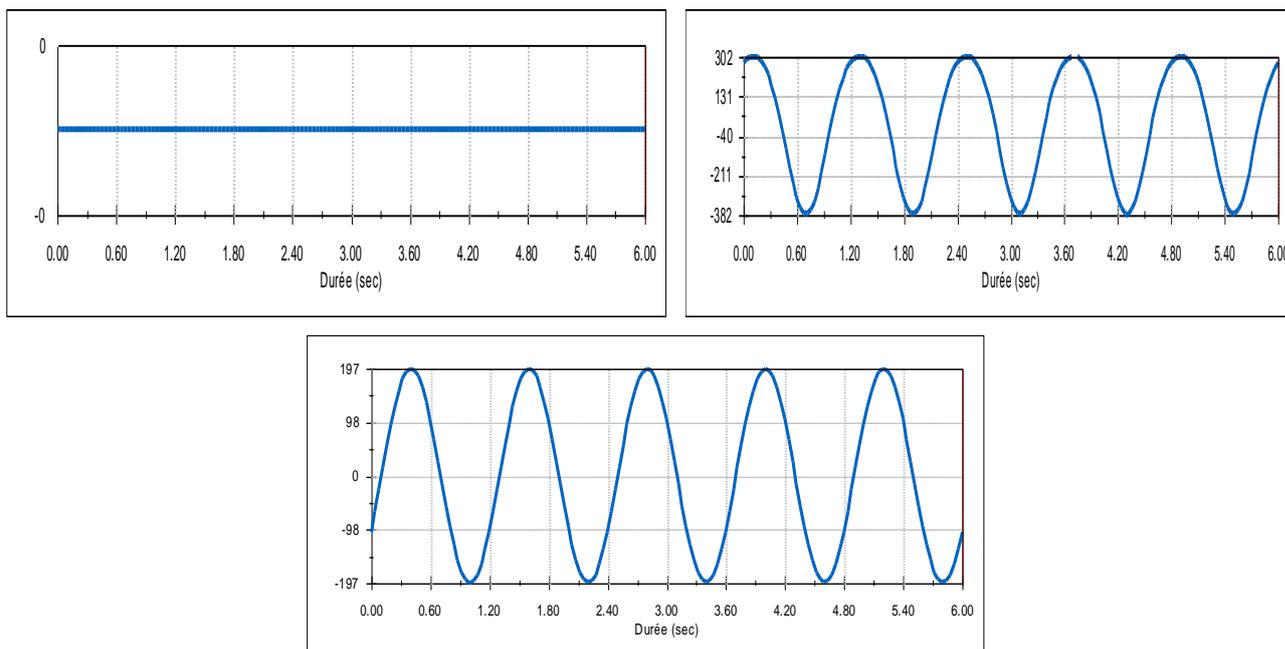


Fig.21-Les déplacements accélérations lineaire de la bielle

Remarque : Les valeurs maximales pour l'accélération lineaire : 302 mm par sec² pour l'axe y et 197 mm par sec² pour l'axe z.

3.3. Le Piston

C'est un élément cylindrique de compression, il pouvant déplacer un gaz vers le haut ou vers le bas du cylindre, pour leur éplacement il y a une variation de pression de gaz.

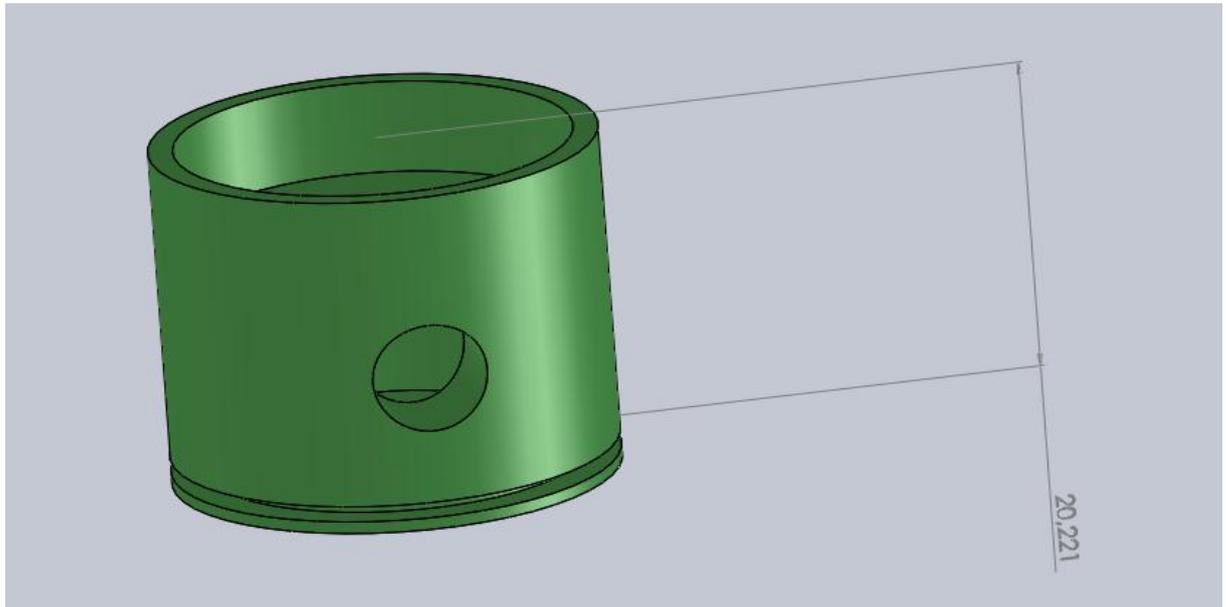


Fig.22- Piston

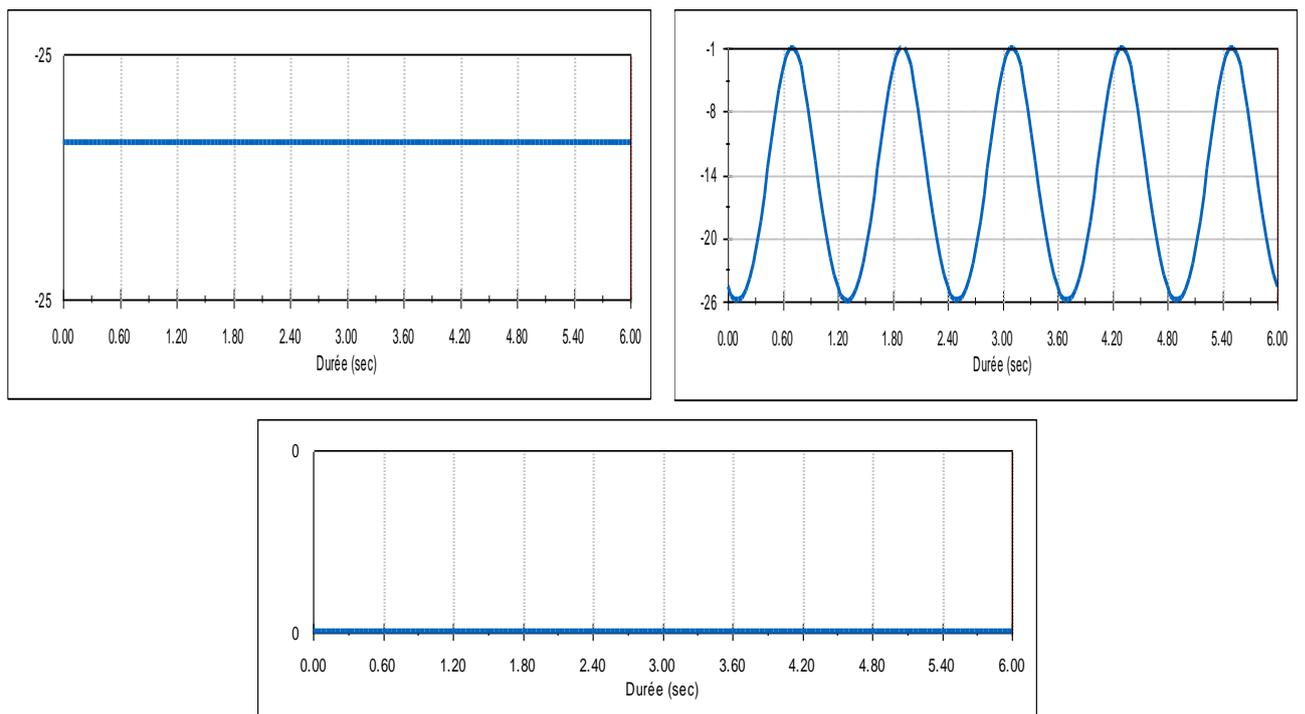


Fig.23-Les déplacements linaires du piston

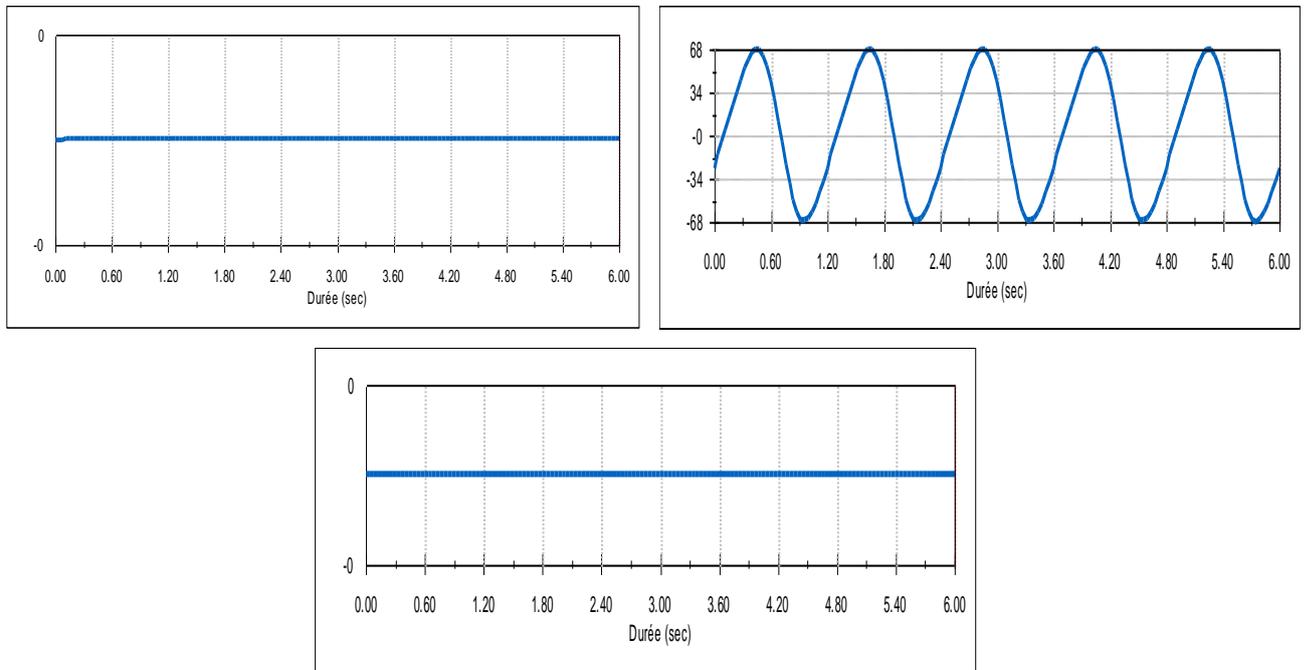


Fig.24-les Déplacements vitesses linaires du piston

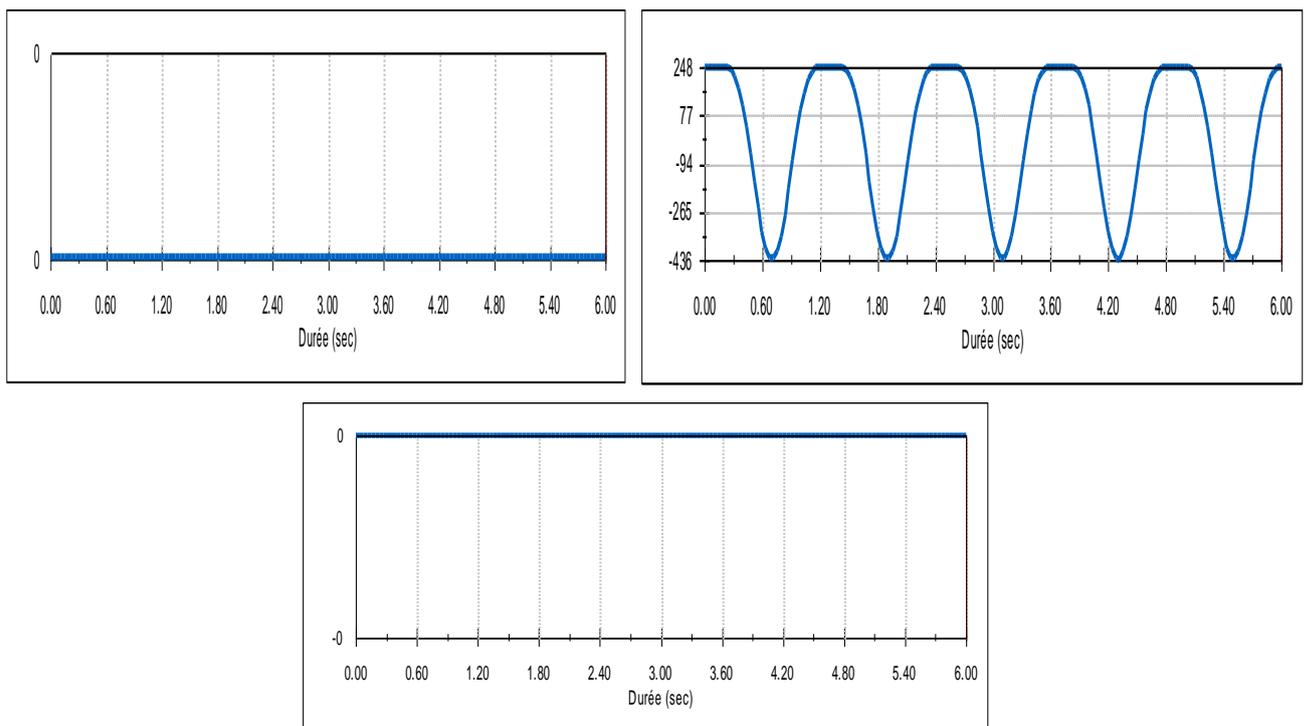


Fig.25-les Déplacements accélérations linaires du piston

Remarque : Dans les courbes précédentes du piston noter qu'aucun seul mouvement sur l'axe y pour un déplacement linéaire et vitesse linéaire et l'accélération linéaire : -1 mm et 68 mm par sec et 248 mm par sec².

3.4. Discussion

Les graphes (15 jusqu'à 25) montrent le comportement cinématique de pièces essentielles dans le moteur à combustion interne. On peut conclure de ces figures que la vitesse de rotation du vilebrequin se transforme en déplacement sinusoïdale entre PMB et PMH du piston (voir Fig. 26, ce déplacement qui assure le mouvement des véhicules à l'aide du système de transmission (boîte de vitesse). Une autre remarque doit être citée dans ce mémoire est que, pour assurer les quatre temps il faut deux rotation du vilebrequin avoir (Fig.28).

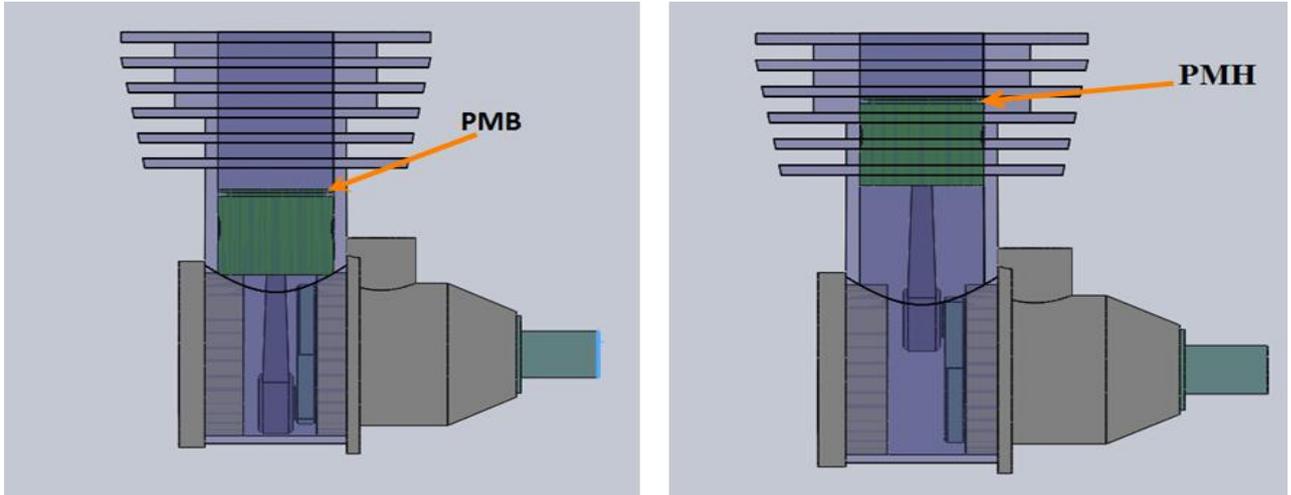


Fig.26-les déplacements de piston PMB et PMH

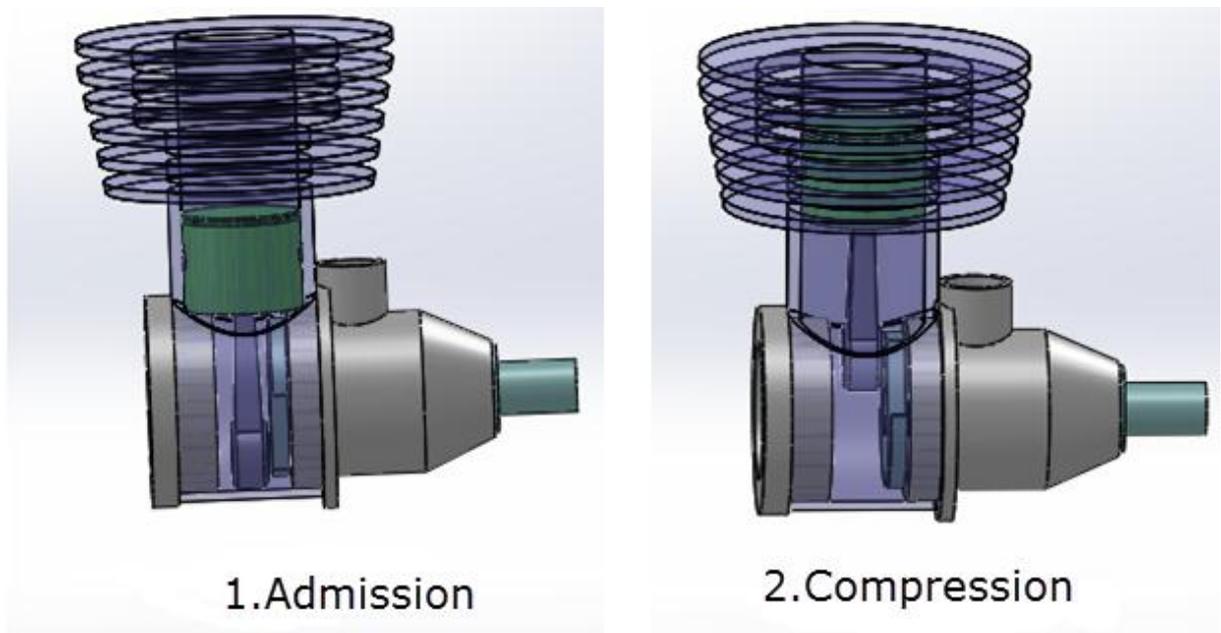


Fig.27- Une rotation de vilebrequin moteur deux temps

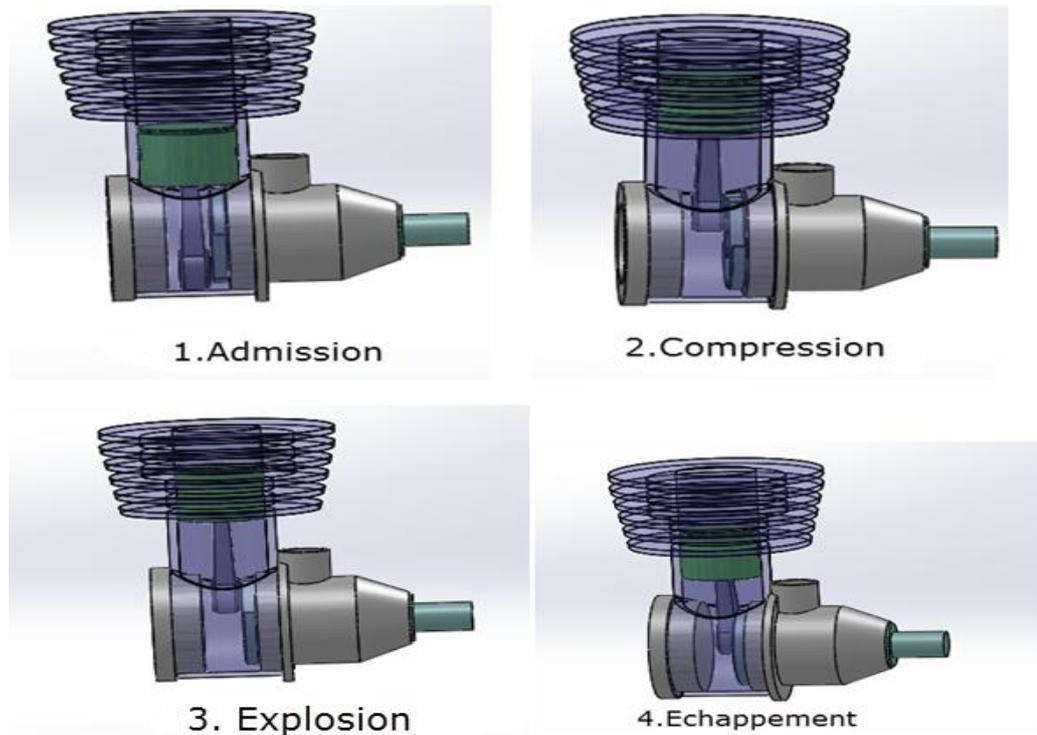


Fig.28-deux rotations de vilebrequin moteur 4 temps

3.5. Simulation des contraintes de Von Mises en utilisant la méthode des éléments finis dans la phase d'explosion :

Dans cette partie on va étudier la distribution des contraintes en utilisant la méthode des éléments finis dans la phase d'explosion des moteurs diesels. La température dans cette phase peut atteindre jusqu'à 2200K et la pression 150 MPa. Le matériaux utilisé dans cet analyse est acier inoxydable recuit.

3.5.1. Définition de la méthode des éléments finis

La méthode des éléments finis est un outil très performant pour l'analyse des systèmes physiques. C'est un outil de simulation et de modélisation largement répandu dans l'industrie mécanique. Elle s'applique dans divers domaines (mécanique, thermique, génie civil, etc...)[7].

- ❖ Les fonctions de base utilisée par la MEF sont locales autour de points particuliers. Le domaine Ω est représenté par un ensemble de points (les nœuds). Chaque fonction est associée à un nœud.
- ❖ **Maillage :** en fait le domaine est représenté par un nombre finis d'éléments de forme simple. Les nœuds sont les sommets des éléments.

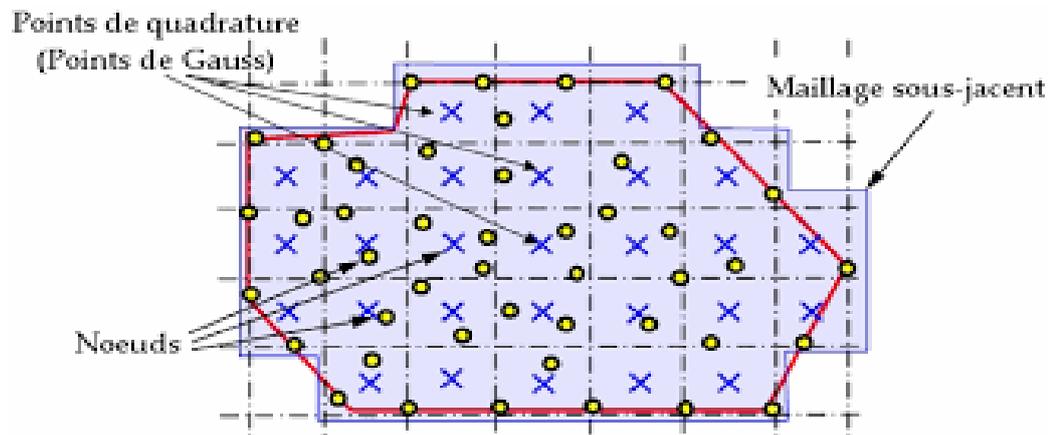


Fig.29-Cellules d'intégration[8].

La figure 30 montre le maillage du piston par la méthode des éléments finis en utilisant Solidworks :

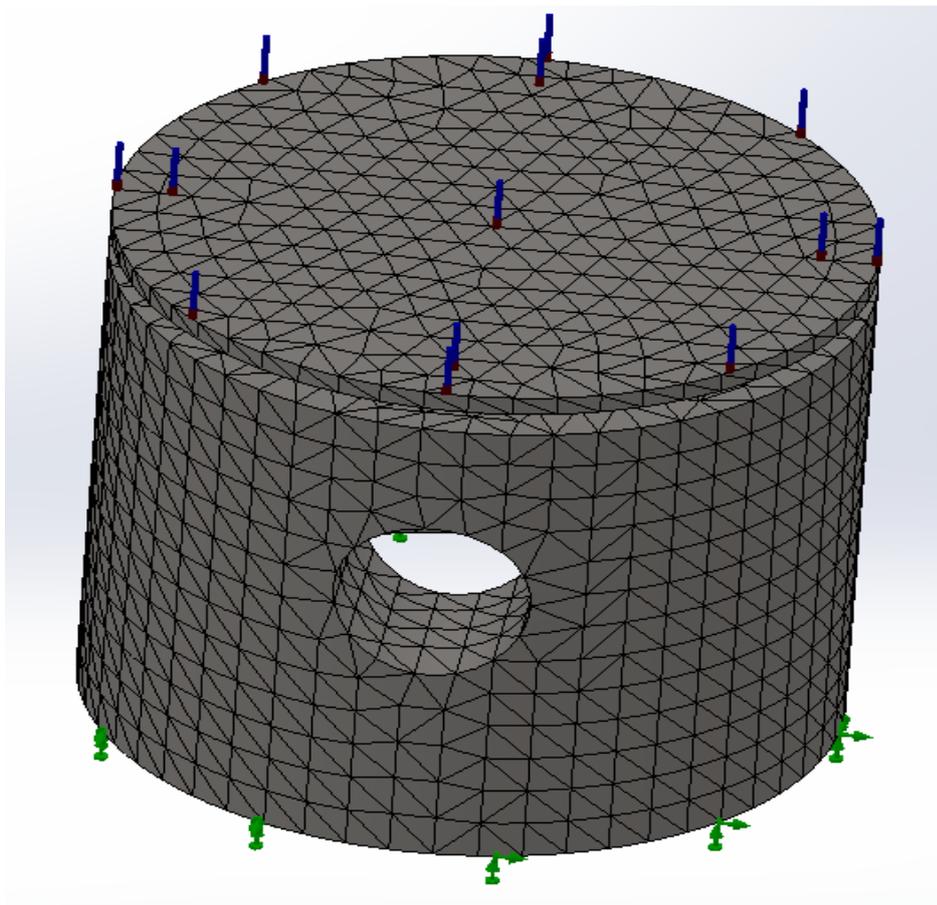


Fig.30-Maillage triangulaire du piston utilisé dans la simulation

3.5.2. Critère de la contrainte de Von Mises

Le critère de Von Mises est basé sur la théorie de Von Mises-Hencky, connue aussi sous le nom de théorie de l'énergie de distorsion maximale.

En utilisant les contraintes principales $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$, la contrainte de Von Mises s'exprime comme suit :

$$\sigma_{\text{vonMises}} = \{[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2] / 2\}^{1/2} \quad (35)$$

La théorie prévoit qu'un matériau ductile commence à céder lorsque la contrainte de Von Mises atteint un niveau égal à la contrainte limite. Dans la plupart des cas, la limite d'élasticité est utilisée comme contrainte limite. Cependant, le logiciel vous permet d'utiliser la limite de rupture en traction ou de définir votre propre contrainte limite.

$$\sigma_{\text{vonMises}} \geq \sigma_{\text{limite}}$$

La limite d'élasticité dépend de la température. La valeur spécifiée pour la limite d'élasticité doit tenir compte de la température du composant. Le coefficient de sécurité en un endroit est calculé comme suit :

$$\text{Coefficient de sécurité (CS)} = \sigma_{\text{limite}} / \sigma_{\text{vonMises}}$$

Cisaillement pur

Dans le cas d'un cisaillement pur, $\sigma_{12} = \sigma_{21} \neq 0$, alors que l'autre $\sigma_{12} = 0$, la contrainte de von Mises s'exprime comme suit : $\sigma_{12} \text{ max} = \sigma_{\text{élasticité}} / \sqrt{3} = 0,5777 \sigma_{\text{élasticité}}$.

Ceci signifie que, à l'occurrence de l'élasticité, la contrainte de cisaillement maximum en cisaillement pur est $\sqrt{3}$ fois inférieure à la limite élastique dans le cas d'une tension simple [20].

Le logiciel Solidworks est basé sur le critère de Von Mises pour calculer les contraintes et les déformations dans la phase d'explosion du piston.

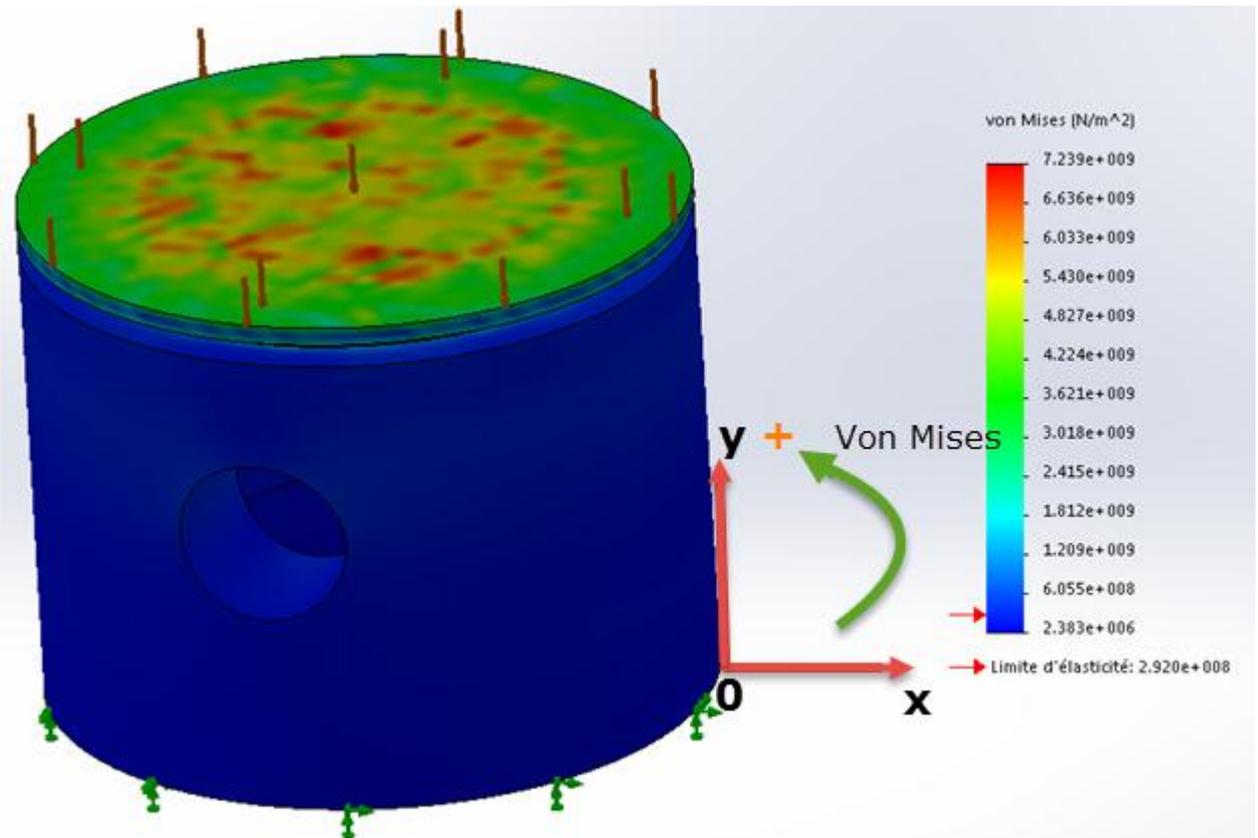


Fig. 31- distribution des contraintes dans la phase d'explosion

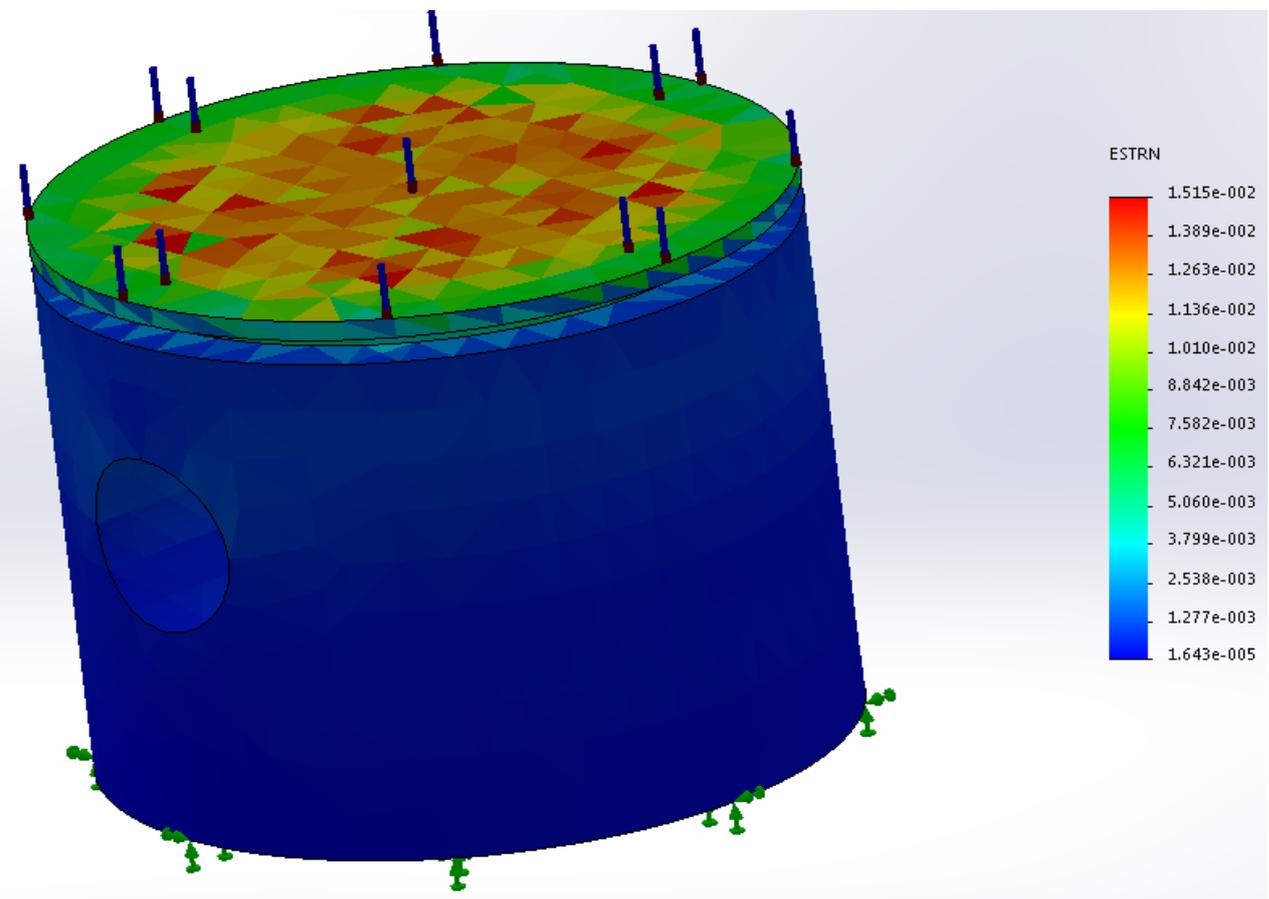


Fig. 32- distribution des déformations dans la phase d'explosion

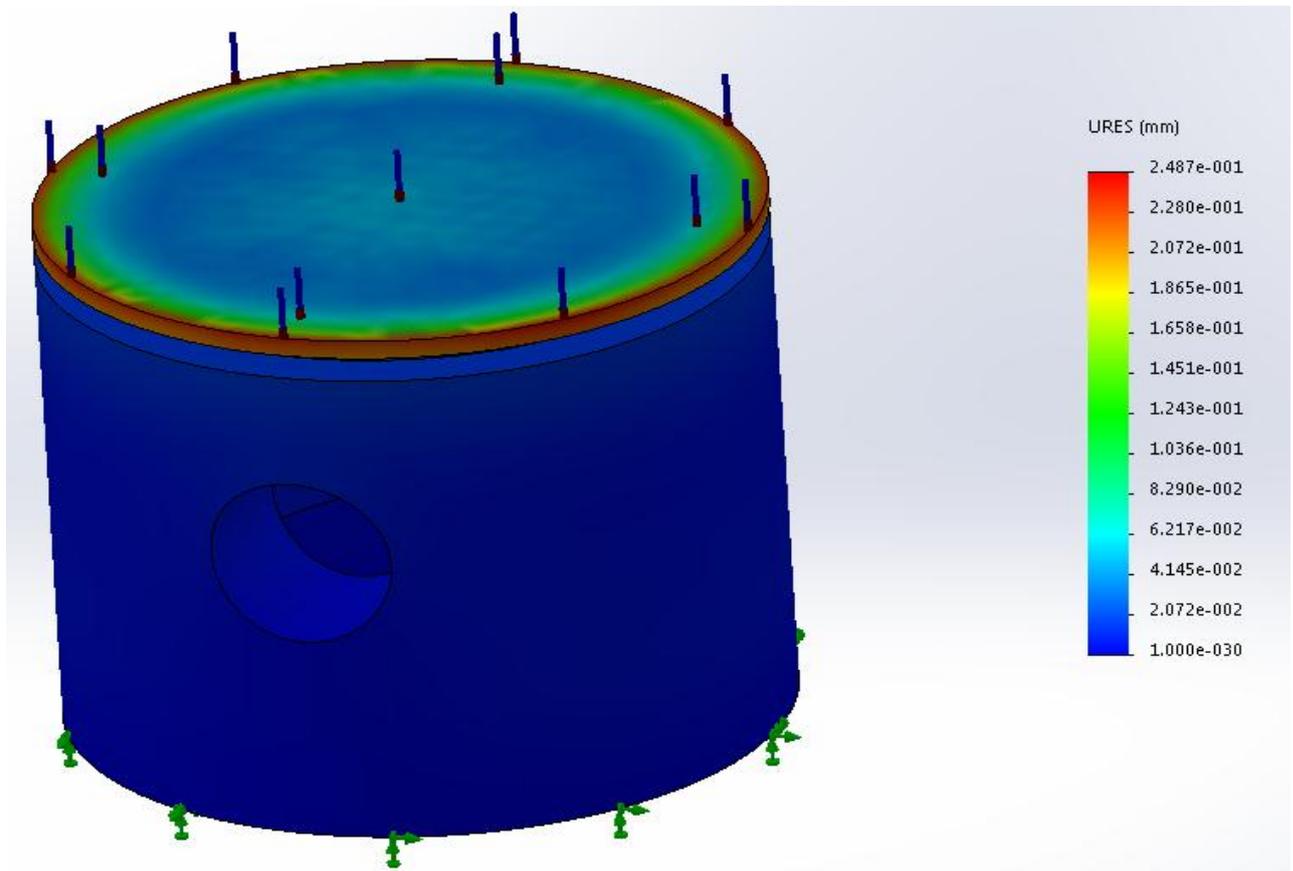


Fig.33- déplacement du piston sous l'effet de la température

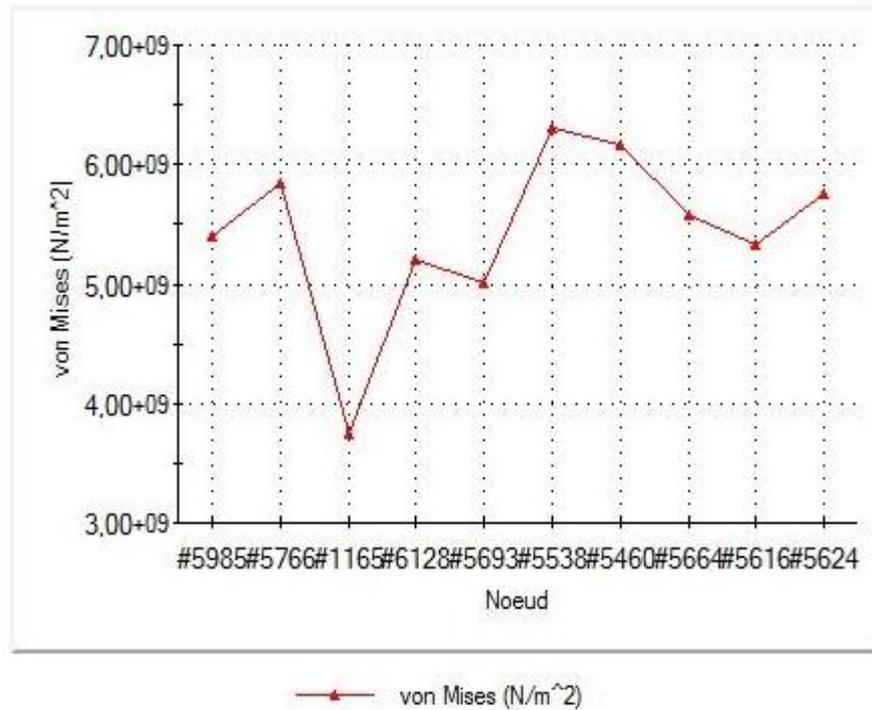


Fig. 34 - Evolution de distribution des contraintes en fonction de noeud

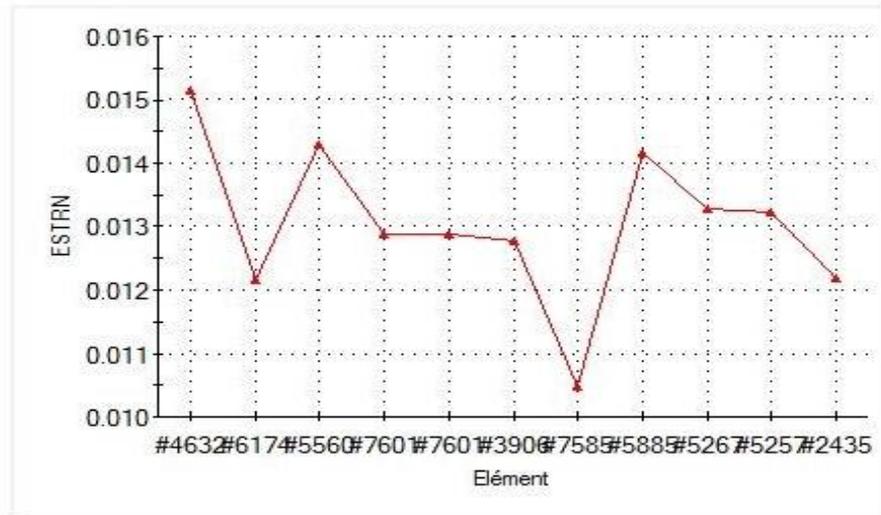


Fig. 35 - Evolution des déformations en fonction de nœud

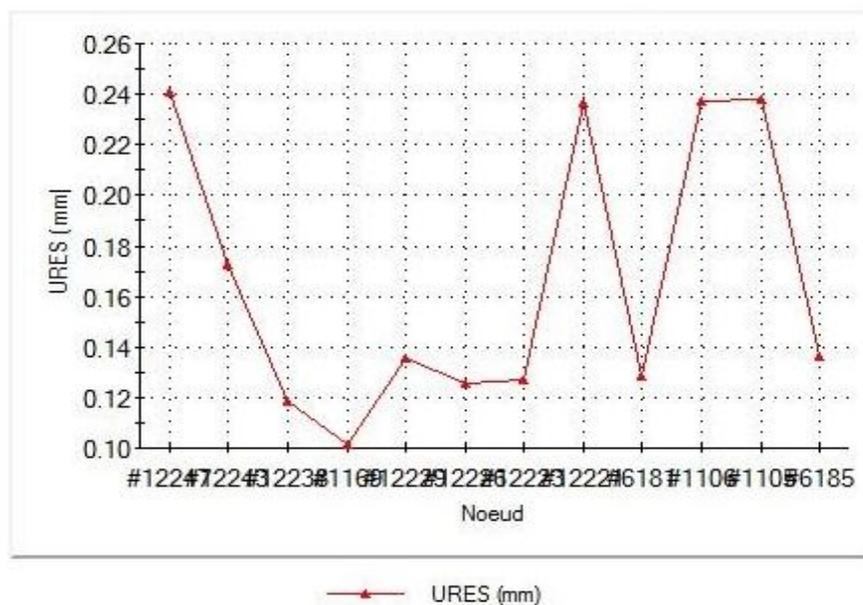


Fig. 36 - Evolution de déplacement en fonction de nœud

On peut conclure à partir des résultats de simulations montrés ci-dessus que les contraintes et les déformations sont concentrées au milieu du piston. Cela veut dire que la contrainte et la déformation max sont localisées au milieu du piston. Tandis-que le graphe du déplacement du piston montre que le déplacement maximal est situé dans l'extrémité du piston, ce déplacement est dû à la dilatation de la partie supérieure du piston dans la phase d'explosion.

Conclusion :

Les résultats de simulation présentés dans ce chapitre montrent le fonctionnement du moteur à quatre temps. On peut conclure de ces résultats que la vitesse de rotation du vilebrequin s'est transformée en déplacement linéaire du piston entre PMB et PMH et pour assurer les quatre temps il faut deux rotations de vilebrequin. En outre, les résultats de simulation des contraintes de Von Mises obtenus par logiciels Solidworks montrent que les contraintes et les déformations max sont localisées au milieu du piston dans la phase d'explosion.

Conclusion général

La modélisation du moteur 4 temps est une étape cruciale dans le domaine de la mécanique. Qu'il s'agit du dimensionnement des composants du moteur et la simulation de mouvement Un modèle régissant le comportement du moteur et tenant compte de tous ses paramètres s'avère indispensable.

Dans une proposition de démarche à suivre lors de l'étude d'un sujet modélisation, notre travail porte particulièrement sur la modélisation du moteur 4 temps. Une recherche bibliographique approfondie nous a aidés à exposer les différents concepts théoriques et formalismes nécessaires à une compréhension assez large de ce domaine.

L'objet de notre travail consiste à partir d'un centre d'intérêt qui est le moteur a 4 temps à étudier dans un premier temps le cycle thermodynamique qui constitue son fondement intrinsèque puis procéder en une modélisation et simulation un modèle d'un moteur 4 temps par logiciels SolidWorks.

Afin de veiller à la validation par la théorie, à chaque étape de l'étude, à la conformité des résultats obtenus avec le modèle mathématique du moteur.

Les résultats de simulation obtenus montrent que pour assurer les 4 temps du moteur il faut deux rotations de vilebrequin avec quarts translations du piston. En outre, les résultats de simulation des contraintes de Von Mises obtenus par logiciels SolidWorks montrent que les contraintes et les déformations max sont localisées au milieu du piston dans la phase d'explosion. Cela veut dire que la pression dans la phase d'explosion doit être inférieure à la pression admissible du matériau pour éviter les fissures et rester toujours dans le domaine élastique.

Notre travail peut être considéré comme une base de départ pour une recherche approfondie dans le domaine des moteurs a combustion interne. Dans un travail futur, une étude complémentaire peut être envisagée en proposant des méthodes pour :

- La simulation des contraintes des cames de l'arbre à came lors de la synchronisation du mouvement.
- La modélisation et la simulation du système d'injection par SolidWorks en utilisant la théorie d'injection.

Bibliographiques

- [1] Matthieu. L ; 2007. Etude expérimentale de sprays d'huile dans un moteur à combustion interne/ Influence de l'écoulement de blow-by et participation à la consommation d'huile, Faculté des sciences Techniques de L'université de Rouen, FRA ;
- [2] Benabbassi, A., 2002. Collection Thermique: Les Moteurs A Combustion Interne Introduction A La Theorie., CUB, 154 p;
- [3] Arfaoui, B., 2012. Une Étude Cinématique et Dynamique du Moteur de la Sonacome K66, SOUDANI TOUFIK. Université Mohamed Khider Biskra;
- [4] Benabbassi.A, 2002. Collection Thermique-Moteur à combustion interne, chapitre 02, in: Les cycles thermodynamiques, pp. 36-50;
- [5] A.BOUSSIER, I.TACHFINT,P.CLEMENT,A.MIZAGUE,M.CHOUKAR,Q.LAUNAY ;2012.Aérodynamique interne lors des transitoires en Injection Directe Essence, pp25-29 ;
- [6] fvb•ffcConstructiv, Bruxelles, 2012.Constriction : Moteur à combustion description, pp7-25.Site web: ffc.constructiv.be ;
- [7] Mechalikh .M ; 2010.Simulation thermomécanique d'un piston de moteur diesel à injection directe par le logiciel abaqus /Influence du matériau, ph .D.Magister.Département de mécanique de université hassibabenboualichlif , UAG ;
- [8] Abdrrachide.H.2011.Résolution des problèmes de distorsion en grande déformation dans les procédés de mise en forme de matériaux basée sur la méthode EFG.4pp ;
- [9] Romain, Nicolas ; 2012. Introduction au moteur à combustion interne.
<http://www.carengineer.com/fr/introduction-au-moteur-a-combustion-interne> :09/06/2016;
- [10] https://fr.wikibooks.org/wiki/Technologie/Moteurs_thermiques/Moteur_Diesel/Soupape:09/06/2016 ;
- [11] http://www.super-soupape.com/cycle_a_deux_temps.php :11/06/2016;
- [12] <http://www.toutsurlamoto.com/le-moteur-2-temps.html> : 11/06/2016;
- [13] Thomas ; 2013. Mécanique Architecture des moteurs à explosion :
<http://www.cause2roues.net/2013/03/mecanique-2-architecture-des-moteurs-a-explosion/> 24/05/2016 ;
- [14] Philippe .g ; TP Moteur à combustion interne. www.energie-environnement-upmc.fr/.../MasterEEMoteurACombustionInterne.pdf:12/06/2016;
- [15] Christian, C., 1996.Technologie DesMoteurs AlternatifsACombustion Interne; Technique De L'ingénieur. P,7;
- [16] <http://www.forum-auto.com/pole-technique/mecanique-electronique/sujet197647.htm> : 30/06/2016
- [17] <http://125cbrevolution.free.fr/technique/moteur.htm> :30/06/2016
- [18] <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD9900/travaux/optemf/moteur/ide.htm> :30/06/2016
- [19] <http://prepa2temps.forumactif.com/t13-avantages-et-inconvenients-du-moteur-deux-temps>:01/07/2016
- [20] http://help.solidworks.com/2013/French/SolidWorks/cworks/r_Maximum_von_Mises_Stress_Criterion.htm:06/07/2016

ANNEXE

L'image du Moteur a 4 temps :

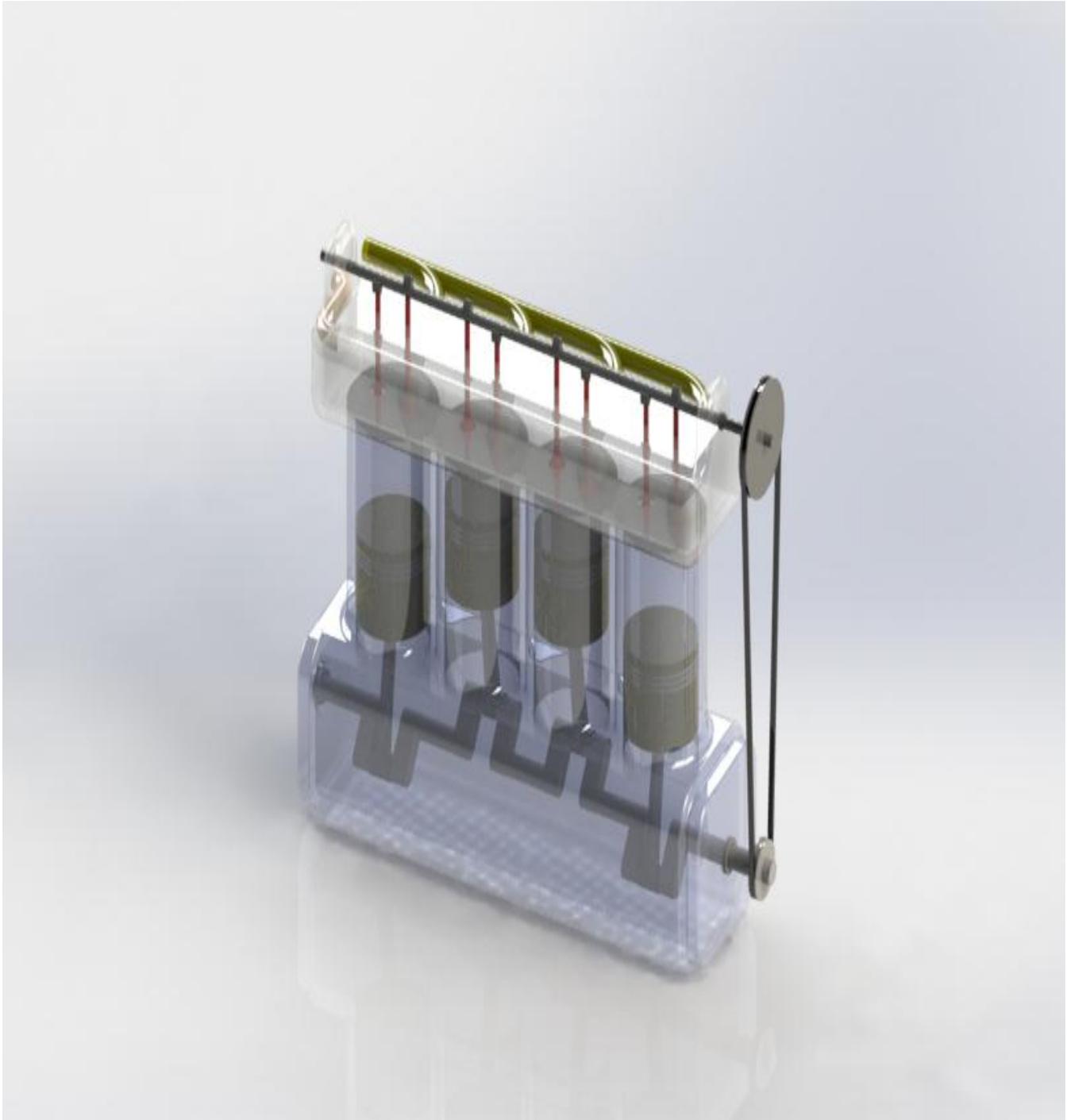


Fig. A- Moteur 4 cylindres modélisé par SolidWorks

Annexe B

Les propriétés de masse des pièces essentielles de moteur à 4 temps :

a. Propriétés de masse de la bielle

| Caractéristique | Valeur | Unité |
|---------------------------------------|---------|-------------------|
| Densité | 0.00 | g/cm ³ |
| Masse | 1.91 | G |
| Volume | 1913.13 | mm ³ |
| Superficiel | 2431.94 | mm ² |
| Centre de gravité (y) | 19.14 | Mm |
| Principaux axes et moment d'inertie : | | |
| Pris au centre de gravité. | | |
| lx=(0.00, 1.00, 0.00) Px | 36.05 | g.mm |
| ly=(0.00, 0.00, 1.00)Py | 634.71 | g.mm |
| lz= (1.00, 0.00, 0.00) Pz | 658.59 | g.mm |

b. Propriétés de masse du Vilebrequin

| Caractéristique | Valeur | Unité |
|---------------------------------------|----------|-------------------|
| Densité | 0.00 | g/cm ³ |
| Masse | 15.07 | G |
| Volume | 15074.94 | mm ³ |
| Superficiel | 7349.60 | mm ² |
| Centre de gravité : | | |
| X | -35.47 | mm |
| Y | -0.16 | mm |
| Z | 0.00 | mm |
| Principaux axes et moment d'inertie : | | |
| Pris au centre de gravité. | | |
| lx = (1.00, 0.01, 0.00) Px | 1181.21 | g.mm |
| ly = (-0.01, 1.00, 0.00) Py | 7253.87 | g.mm |
| lz = (0.00, 0.00, 1.00) Pz | 7398.67 | g.mm |

c. Propriétés de masse du Piston

| Caractéristique | Valeur | Unité |
|---------------------------------------|---------|-------------------|
| Densité | 0.00 | g/cm ³ |
| Masse | 7.21 | G |
| Volume | 7214.74 | mm ³ |
| Superficiel | 4475.80 | mm ² |
| Centre de gravité : | | |
| X | 0.00 | mm |
| Y | 27.52 | mm |
| Z | 0.00 | mm |
| Principaux axes et moment d'inertie : | | |
| Pris au centre de gravité. | | |
| $I_x = (1.00, 0.00, 0.00) P_x$ | 623.84 | g.mm |
| $I_y = (0.00, 0.00, -1.00) P_z$ | 675.78 | g.mm |
| $I_z = (0.00, 1.00, 0.00) P_y$ | 823.55 | g.mm |

Résumé

Le moteur à 4 temps est un moteur à combustion interne utilisé pour la propulsion de nombreux véhicules de transport. Le but de ce travail présent la modélisation et la simulation des principaux organes du moteur 4 temps par logiciel SolidWorks (2015). Les résultats de simulations obtenus montrent que les quarts temps sont assurés par deux rotations de vilebrequin.

Mots clés: 4-temps, cycle thermodynamique, moteur à combustion interne, Solidworks.

Abstract

The 4-stroke engine is an internal combustion engine used for propulsion of many vehicles. The aims of this study present the modelling and simulation of the principal organs of the 4-stroke engine with SolidWorks software (2015). Simulation results show that the four times are insured by two crankshaft rotations.

Key words: 4-stroke, thermodynamic cycle, internal combustion engine, SolidWorks.

المخلص

محرك رباعي الأشواط هو محرك احتراق داخلي يستخدم للعديد من المركبات والهدف من هذه الدراسة هو نمذجة ومحاكاة مكونات محرك رباعي الأشواط وذلك عن طريق برنامج سولييدورك (2015) وتشير نتائج المحاكاة التي تم الحصول عليها أنه خلال أربعة أشواط يدور العمود المرفقي دورتين.

الكلمات المفتاحية : محرك رباعي الأشواط، دورة حرارية، محرك الاحتراق الداخلي، سولييدوركس.