

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

Faculté de Technologie

Département de Génie Mécanique

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie mécanique

Spécialité : Energétique

Thème



**Evaluation de l'impact environnemental entre les
systèmes de fonctionnement des moteurs à essence et
Diesel**

Devant le jury composé de :

Dr. KHECHANA Mohammed Président
Dr. NCIB Eldjilani Examineur
Dr. BOULIFA M. Iliasse Encadreur

Présenté par :

- LAGRAA Saad
- BAHDI Abdelkarim
- DJOUIDA AHMED Ali

2018-2019

DEDICACE

*Nous dédions ce travail :
À nos pères et mères ;
À nos frères et sœurs ;
À nos très chers amis.*

REMERCIEMENTS

Nous remercions **Dieu** le tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience de mener à terme le présent mémoire.

Nous remercions vivement Dr. **BOULIFA Mohammed Ilias**, de l'Université d'EL-OUED, pour l'honneur qu'il nous a fait l'honneur en acceptant encadrer notre mémoire.

J'adresse un remerciement particulier à Mr. **CHOUIKH Tahar** de l'Unité de contrôle technique des véhicules de sidi Mestour EL-OUED, pour son aide, sa disponibilité et pour nous avoir facilité pleins de tâches lors de notre stage pratique.

Merci à tous ceux qui nous ont aidé et encouragé dans ce travail un peu ou beaucoup, tous nos remerciements et notre estime à tous **les enseignants** du département de génie mécanique.

Liste des figures

La figure	Titre	Page
Figure I.1	Chambre de combustion d'un moteur à combustion interne	3
Figure I.2	Principe de fonctionnement du moteur essence à 4 temps.	5
Figure I.3	Principe de fonctionnement du moteur diesel à 4 temps.	5
Figure II.1	Moteur essence	9
Figure II.2	Principe de fonctionnement du moteur essence à 4 temps.	11
Figure II.3	Diagramme du cycle de Beau de Rocha	12
Figure II.4	Diagramme du cycle réel	13
Figure II.5	Principe de fonctionnement du moteur essence à 2 temps	14
Figure II.6	Carburation par carburateur	15
Figure II.7	Carburation par injection	15
Figure II.8	Filtre à air à bain d'huile.	17
Figure II.9	Système d'alimentation d'un moteur	17
Figure II.10	Pompe à membrane (aspiration)	18
Figure II.11	Pompe à membrane (refoulement)	19
Figure II.12	Pompe à carburant Bosch	19
Figure II.13	Circuits internes du carburateur	20
Figure II.14	Circuit de ralenti.	21
Figure II.15	Circuit principal.	22
Figure II.16	Circuit de reprise	22
Figure II.17	Circuit d'enrichissement de puissance.	23
Figure II.18	Injection directe	24
Figure II.19	Injection indirecte	24
Figure II.20	Schéma de l'installation du système K-Jetronic	25
Figure II.21	Schéma du système L-Jetronic	26
Figure III.1	Moteur Diesel	28
Figure III.2	Cycle de fonctionnement d'un moteur diesel à 4 temps.	30
Figure III.3	Diagramme théorique d'un diesel	31
Figure III.4	Diagramme réel d'un moteur diesel	32
Figure III.5	Circuit d'alimentation avec pompe en ligne.	33
Figure III.6	Pompe à membrane AC avec pré-filtré	34
Figure III.7	Pompe Bosch classique.	35

Figure III.8	Pompe d'alimentation Bosch à double effet	36
Figure III.9	Pompe Bosch taille A avec graissage moteur	37
Figure III.10	Pompe d'injection Bosch taille A	38
Figure III.11	Mécanisme de commande de rotation du piston	39
Figure III.12	Positions de piston dans le cylindre	39
Figure III.13	Soupape à respiration Bosch	40
Figure III.14	Clapets à billes	40
Figure III.15	Porte-injecteur Lucas-Diesel avec injecteur à téton type DN	41
Figure III.16	Injecteur Bosch type DL	42
Figure III.17	Injecteur à trous Bosch type DLL avec protecteur de chaleur	42
Figure III.18	Injecteurs à téton à extrémité cylindrique	43
Figure III.19	Injecteurs à téton à extrémité conique	43
Figure III.20	Injecteurs à étranglement type DN Bosch à téton conique	44
Figure III.21	Injecteur à trou pilote	44
Figure III.22	Système d'injecteur-pompe 3500 Caterpillar	45
Figure III.23	Système d'injecteur-pompe à commande électronique	46
Figure III.24	Fonctionnement d'un injecteur électromagnétique	46
Figure III.25	Système haute pression Nippondenso	47
Figure IV.1	Analyseur de gaz moteur à essence	54
Figure IV.2	Opacimétrie de gaz moteur Diesel	55
Figure IV.3	Teneur en CO dans les moteurs à essence	59
Figure IV.4	Teneur en CO ₂ dans les moteurs à essence	59
Figure IV.5	Teneur en O ₂ dans les moteurs à essence	60
Figure IV.6	Teneur en HC dans les moteurs à essence	60
Figure IV.7	L'opacité K ₁ dans les moteurs Diesel	61

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
Tableau II.1	L'ordre d'allumage du moteur à 4 cylindres	11
Tableau III.1	L'ordre d'injection	30
Tableau IV.1	Liste des polluants et leurs caractéristiques	50
Tableau IV.2	Résultats d'analyse moteurs à essence	55
Tableau IV.3	Résultats d'analyse moteurs diesel	56
Tableau IV.4	Résultats d'analyse moteurs à essence de 2007 à 2010	56
Tableau IV.5	Résultats d'analyse moteurs à essence de 2011 à 2014	57
Tableau IV.6	Résultats d'analyse moteurs à essence de 2015 à 2018	57
Tableau IV.7	Résultats d'analyse moteurs diesel de 2005 à 2009	57
Tableau IV.8	Résultats d'analyse moteurs diesel de 2010 à 2014	58
Tableau IV.9	Résultats d'analyse moteurs diesel de 2015 à 2019	58

Liste des abréviations

NO₂ : Dioxyde d'azote

C₇H₁₆ : Heptane hydrocarbure

O₂ : Oxygène

N₂ : Azote

H₂O : eau

SO₂ : Dioxyde de soufre

NO_x: Oxydes d'azote (NO etNO₂)

CO : Monoxyde de carbone

CO₂ : dioxyde de carbone

H : Hydrocarbure

HCL : Acide chlorhydrique

O₃ : Ozone

O : Monoxygène

Ch₄ : Méthane

CFC :Clorofluorocarbure

N₂O : oxydes nitreux

HO₂ : hydro-peroxyde

H₂ :hydrogène

HC : Hydrocarbures imbrûlés

R : radicaux alkyls

Ppm : Partie par million

Sommaire

<i>DEDICACE</i>	i
<i>REMERCIEMENTS</i>	ii
Liste des figures	iii
Liste des tableaux	v
Liste des abréviations	vi
Introduction générale	1
Chapitre I : Généralités sur les moteurs à combustion interne	
I. Généralités sur les moteurs à combustion interne	2
I.1. Introduction	2
I.2. Définition	2
I.3. Historique	3
I.3.1. Historique du moteur à essence (à allumage commandé)	3
I.3.2. Historique de moteur Diesel	4
I.4. Généralités	4
I.4.1. Principe de fonctionnement	5
I.4.2. Classifications des moteurs à combustion interne	6
I.4.2.1. Les moteurs à essence (à explosion)	6
I.4.2.2. Les moteurs Diesel (à combustion)	6
I.4.3. Propriétés du moteur à combustion interne	6
I.4.4. Comparaison entre les types des moteurs à combustion interne	6
I.4.5. Les avantages et les inconvénients du moteur à combustion interne	7
I.4.5.1. Les avantages du moteur à combustion interne	7
I.4.5.2. Les inconvénients du moteur à combustion interne	7
I.5. Conclusion	8
Chapitre II : Etude du moteur à essence	
II. Etude du moteur à essence	9
II.1. Introduction	9
II.2. Définition de moteur à essence (à allumage commandé)	9
II.3. Principe de fonctionnement	10
II.3.1. Les quatre temps du moteur à essence	10
II.3.2. Diagramme théorique	11
II.3.3. Cycle réel	12
II.3.4. Cycle deux temps	13

II.4. Système d'alimentation	14
II.5. Système à carburateur.....	15
II.5.1. La carburation.....	15
II.5.1.1. Dosage.....	15
II.5.1.2. Vaporisation.....	16
II.5.1.3. Homogénéité.....	16
II.5.2. Alimentation en air	16
II.5.3. Alimentation en carburant.....	17
II.5.3.1. Circuit complet	17
II.5.3.2. Pompe à essence	18
II.5.3.3. Carburateurs.....	20
II.6. Système d'injection.....	23
II.6.1. Principe de fonctionnement.....	23
II.6.2. Avantages du système d'injection.....	23
II.6.3. Différents systèmes d'injection.....	23
II.6.3.1. Principe de l'injection K-Jetronic.....	24
II.6.3.2. Principe de l'injection L-Jetronic	26
II.7. Conclusion	27
Chapitre III : Etude du Moteur Diesel	
III. Etude du moteur Diesel	28
III.1. Introduction.....	28
III.2. Définition de Moteur Diesel	28
III.3. Principe de fonctionnement	29
III.3.1. Les quatre temps du moteur Diesel	29
III.4. Le cycle d'un moteur Diesel à 4 temps	30
III.4.1. cycle théorique d'un moteur Diesel	30
III.4.2. cycle réel d'un moteur Diesel	32
III.5. Alimentation	32
III.5.1. Circuits d'alimentation.....	32
III.5.1.1. Circuit en "aspiration".....	33
III.5.1.2. Circuit en "basse pression".....	33
III.5.1.3. Circuit à haute pression.....	33
III.5.1.4. Les pompes d'alimentation.....	34

III.6. Systèmes d'injection	36
III.6.1. Rôle.....	36
III.6.2. Condition à remplir.....	36
III.6.3. Pompe d'injection Bosch taille "A"	37
III.6.3.1. Généralités.....	37
III.6.3.2. Eléments de pompage (pistons).....	37
III.6.3.3. Soupape de refoulement.....	39
III.7. Injecteurs et porte-injecteurs.....	40
III.7.1. Rôle et fonctionnement de l'injecteur	41
III.7.2. Différents types d'injecteurs.....	42
III.7.2.1. Injecteurs à trous.....	42
III.7.2.2. Injecteurs à tétons	43
III.7.2.3. Injecteurs à étranglement	43
III.7.2.4. Injecteurs à trous pilote	44
III.8. Injecteurs-pompes et systèmes électroniques	45
III.8.1. Injecteurs-pompes	45
III.8.1.1. Injecteurs-pompes mécaniques.....	45
III.8.1.2. Injecteurs-pompes à commande électronique	45
III.8.2. Nouveaux systèmes d'injection Diesel	46
III.9. Les avantages du Moteur Diesel	47
III.10. Les inconvénients du Moteur Diesel	47
III.11. Conclusion	48
Chapitre IV: Impact Environnemental	
IV. Impact environnemental	49
IV.1. Introduction	49
IV.2. Définition de la pollution	50
IV.3. Origines des polluants et principaux éléments	50
IV.4. Les principaux polluants	50
IV.5. Monoxyde de carbone (CO)	51
IV.5.1. Effet sur l'environnement.....	51
IV. 5.2. Effets sur la santé humaine	51
IV.5.3. Origine de monoxyde de carbone	52
IV.6. Principales situations professionnelles entraînant des expositions aux gaz d'échappement.....	52

IV.7. Mécanismes de formation des polluants	53
IV.7.1. Dioxyde de carbone (CO ₂).....	53
IV.7.2. Monoxyde de carbone (CO)	53
IV.7.2.1. Cas d'un mélange globalement ou localement riche (moteur à essence).....	53
IV.7.2.2. Cas d'un mélange pauvre (moteur diesel):	53
IV.7.3. Hydrocarbures imbrûlés (HC) :	53
IV.8. Travail Expérimental.....	54
IV.8.1. Méthodes expérimentales	54
IV.8.2. Résultats.....	55
IV.8.3. Discussion des résultats	56
IV.9. Conclusion.....	61
Conclusion Générale	62
Bibliographie.....	63

Introduction générale

Introduction générale

Les moteurs thermiques ont pour rôle de transformer l'énergie thermique à l'énergie mécanique, L'énergie thermique peut être obtenue par combustion d'un mélange d'air et de combustible, la combustion se produit à l'intérieur de la chambre de combustion.

Il y a 2 types de moteurs thermiques :

- * Les moteurs thermiques à combustion interne.
- * Les moteurs thermiques à combustion externe.

La problématique étudiée est basé sur La conversion de l'énergie chimique en énergie mécanique, par moteurs à combustion interne présente une différence importante de côté conception, combustion, régime de fonctionnement et impact environnemental. L'étude de comparaison entre les deux systèmes de fonctionnement est très importante, pour bien comprendre les avantages et les inconvénients de chaque régime, pour optimiser un régime n'influant pas la stabilité de l'environnement par la mauvaise combustion afin de réduire les émissions des gaz à effet de serre et améliorer la qualité de l'air.

A partir de la problématique on a pris comme objectif de travail, la comparaison entre les systèmes de fonctionnement des moteurs à essence et diesel et leur effet sur l'environnement grâce au processus de combustion.

Pour arriver à cet objectif on a proposé quatre chapitres :

Dans le premier chapitre on a présenté des généralités sur les moteurs à combustion interne et leurs types.

Au cours de deuxième chapitre nous étudions le moteur à allumage commandé (moteur à essence) et ses propriétés.

A partir du troisième chapitre nous étudions le moteur diesel et son principe de fonctionnement.

Dans le dernier chapitre on présente les gaz d'échappement des moteurs et leur effet sur l'environnement. Enfin une conclusion générale.

Chapitre I : Généralités sur les moteurs à combustion interne

I.1. Introduction

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, la combustion se produit à l'intérieur de la chambre de combustion. Les moteurs à pistons, les turbines à gaz et les turboréacteurs font partie de ce groupe. Traditionnellement, l'appellation Moteur à combustion interne est réservée uniquement aux moteurs à pistons.

Les moteurs à piston, naturellement aspirés ou suralimentés par un turbocompresseur. Ce genre de moteurs est largement, utilisé dans le domaine du transport routier, maritime, ferroviaire et aérien, dans le matériel des travaux publics et agricoles, ainsi que dans les centrales électriques. [1]

I.2. Définition

Le moteur à combustion interne est une machine chargée de transformer l'énergie calorifique en énergie mécanique. Son fonctionnement est ainsi régi à la fois par des paramètres dynamiques (masse, vitesse, accélération) liés à la cinématique du système bielle/vilebrequin, et par des paramètres thermodynamiques (température, pression, volume), liés au principe du mélange gazeux dans la chambre de combustion (figure 1), la combustion du mélange gazeux dans le cylindre génère le déplacement du piston. Ce dernier, par l'intermédiaire de la bielle, va permettre au vilebrequin de tourner. Un volant moteur en bout de vilebrequin rajoute de l'inertie afin de régulariser la vitesse de rotation du moteur. L'autre extrémité du vilebrequin permet d'entraîner l'arbre à cames et les divers accessoires : pompes, alternateur, climatisation. La transmission du mouvement de rotation aux accessoires ou à l'arbre à cames se fait grâce à des courroies, des chaînes ou des pignons. L'arbre à cames actionne les soupapes qui assurent les échanges gazeux dans le cylindre.

Dans les machines alternatives à combustion interne, la combustion s'effectue au sein même du fluide moteur. C'est le même fluide qui repousse le piston et qui subit une combustion. par exemples moteur à essence, moteur diesel. La conception des moteurs à combustion interne remonte à la deuxième partie du 19^{ème} siècle. [2]



Figure I.1 : Chambre de combustion d'un moteur à combustion interne. [2]

Développement chronologique du cycle de moteur

- 1860 : Cycle de Lenoir. Lenoir propose un moteur à deux temps avec piston à double effet, la pression agissant à chaque demi-tour sur l'une des faces du piston.
- 1862 : Cycle de Beau de Rochas. Beau de Rochas propose un moteur à quatre temps. La même année Otto (Allemagne) réalise le moteur à quatre temps.
- 1892 : Cycle Diesel. Diesel dépose un brevet sur un moteur à allumage par compression. Son moteur commencera à fonctionner avec une injection d'huile lourde. [3]

I.3. Historique

I.3.1. Historique du moteur à essence (à allumage commandé)

La réalisation de la fonction de formation du mélange dans les moteurs à allumage commandé, depuis leur invention dans les années 1860 par Otto et Lenoir, a été dominée pendant un siècle par la solution carburée. Un carburateur créait le mélange air-combustible à partir de la dépression créée au col d'un venturi sur la veine d'air où débouchait l'alimentation en combustible.

Le premier dispositif d'injection fut appliqué en 1937 sur des moteurs d'avions puis d'autres systèmes furent développés par Gutbrod pour des moteurs d'automobiles deux temps en 1952, puis quatre temps notamment sur la Mercedes 300SL en 1956.

L'injection d'essence entra donc dans le domaine public par le haut de gamme, les voitures à hautes performances telles que Mercedes avec les systèmes Bosch en Europe et Corvette avec Rochester aux États-Unis. En parallèle, des systèmes « exotiques » furent brevetés qui parfois donnèrent lieu à de petites productions, comme Puche en Allemagne dans les années 1950, avec le premier système d'injection de pré mélange. Pendant les années 1960, les systèmes

d'injection indirecte mécanique commencent à s'implanter sur les voitures de série : Kugelfischer équipant les Peugeot 404IE puis 504 ainsi que la Lancia Flavia, les BMW 5201 et les Ford Capri 2600 Sport, tandis que Lucas développait l'injection des Triumph 2000 et Maserati 3500GT. [4]

I.3.2. Historique de moteur Diesel

Le moteur diesel prit son nom de son inventeur, l'ingénieur allemand Rudolf Christian Karl Diesel, né le 18 mars 1858 à Paris et mort en 1913. A l'âge de 35 ans il publia après de longues études un ouvrage intitulé : "Théorie et construction d'un moteur thermique rationnel".

Dans cet ouvrage, Rudolf Diesel, qui avait l'idée de réaliser un moteur dont le cycle se rapprochait du cycle de Carnot a présenté ce nouveau moteur comme un moteur à combustion interne dans lequel a été utilisé la chaleur due à la compression de l'air pour provoquer l'allumage du combustible.

Cinq mois plus tard, la Société CRUPP fait les premiers essais sur le diesel, dans l'atelier d'Augsbourg, le combustible injecté après pulvérisation, explosa comme prévu mais malheureusement, le moteur ne résista pas. Toutefois, le but recherché était atteint et Rudolf Diesel ne se découragea pas : il a construit un moteur plus résistant et fait une démonstration du parfait fonctionnement de son nouveau moteur en 1897.

A la suite de ces expériences, en 1918, il invente un moteur semi-diesel ainsi nommé pour la simple raison qu'il ne comprime pas l'air jusqu'à la température d'inflammation du combustible.

La mise en route s'effectue après préchauffage de la chambre de combustion dont la température est ensuite entretenue par les combustions successives.

Rudolf Diesel, passionné de mécanique, a obtenu différents brevets dont un en particulier, en 1892, intitulé "procédé pour produire de la force motrice en faisant brûler un combustible". Il disparut en 1913 alors qu'il se rendait en Angleterre. [5,6]

I.4. Généralités

On retrouvera, dans tous les moteurs thermiques à combustion interne, qu'ils soient à essence ou diesel les mêmes opérations nécessaires au fonctionnement du moteur et les mêmes définitions de certains termes. [7]

I.4.1. Principe de fonctionnement

Le carburant pulvérisé très finement et mélangé à l'air forme un mélange combustible qui est introduit dans le cylindre. Cette introduction correspond à l'opération d'admission. A ce stade de l'introduction dans le cylindre, le mélange gazeux est à faible pression. Si on l'enflammait à ce moment, il ne pourrait fournir qu'un travail insuffisant, il faut au préalable le comprimer : c'est l'opération de compression. Puis, le mélange enflammé se détend en fournissant l'effort moteur transformé en mouvement de rotation sur l'arbre moteur grâce au mécanisme bielle-manivelle (figure 2 et 3). Enfin, il faut que les gaz brûlés soient évacués avant qu'un nouveau mélange frais soit admis dans le cylindre : c'est l'opération d'échappement. Puis, ces opérations se répètent dans le même ordre pour constituer le cycle moteur. [4]

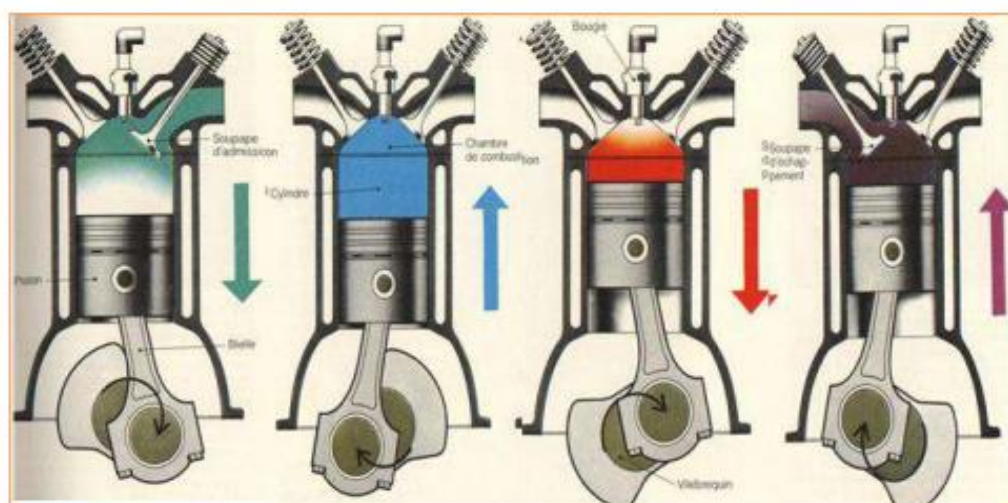


Figure I.2 : Principe de fonctionnement du moteur essence à 4 temps. [8]

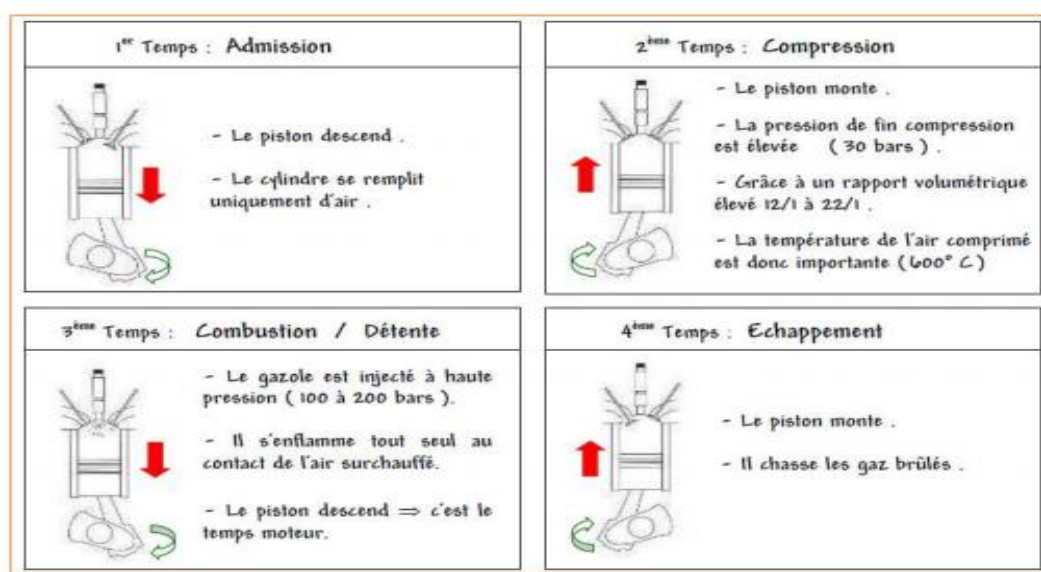


Figure I.3 : Principe de fonctionnement du moteur Diesel à 4 temps. [2]

I.4.2. Classifications des moteurs à combustion interne

Les moteurs à combustion interne se classent en :

I.4.2.1. Les moteurs à essence (à explosion)

- a) La combustion du mélange air / essence est amorcée par l'étincelle d'une bougie d'allumage.
- b) le système d'allumage est commandé.
- c) Le mélange air / essence peut s'effectuer par :
 - Carburateur
 - Injection directe d'essence

I.4.2.2. Les moteurs Diesel (à combustion)

- a) La combustion est déclenchée par l'injection du gazole sous pression dans de l'air fortement comprimé.
- b) Le mélange s'enflamme par auto inflammation, c'est-à-dire spontanément. [9]

I.4.3. Propriétés du moteur à combustion interne

Le moteur à combustion interne est caractérisé par :

- Un taux de compression faible pour les moteurs à essence (8 à 10), plus élevé (pour le moteur diesel).
- Une préparation du mélange du combustible (carburateur).
- Un allumage du mélange combustible en fin de compression.
- Une combustion produisant des polluants NO₂, CO.
- Un diamètre du cylindre compris entre quelques mm et 200 mm maximum. [3]

I.4.4. Comparaison entre les types des moteurs à combustion interne

- Les deux moteurs, essence et Diesel, convertissent l'énergie chimique du carburant en énergie mécanique grâce à une série d'explosions. La manière dont ces explosions se produisent constitue la différence majeure entre ces deux moteurs.

Le moteur diesel se différencie du moteur à explosion par plusieurs points :

- Dans le moteur à explosion, le mélange air-essence est formé dans le carburateur à l'extérieur du cylindre. Par contre, dans le moteur Diesel, il se fait dans le cylindre, l'air étant aspiré et le combustible injecté ensuite, à l'aide d'un "injecteur" alimenté par une "pompe

d'injection" qui lui communique une pression supérieure à celle régnant dans le cylindre en fin de compression pour permettre son introduction.

- Dans le moteur à explosion on essaie d'augmenter le taux de compression mais on est limité par le phénomène "d'auto-allumage". Dans le moteur Diesel, seul l'air est aspiré et on peut le comprimer sans inconvénient pour atteindre des pressions et des températures très élevées.
- Le taux de compression est plus élevé dans le moteur diesel que dans le moteur à explosion, ce qui permet d'obtenir un rendement de l'ordre de 35 % alors que le rendement d'un moteur à explosion ne dépasse pas 25 %.
- C'est au contact de cet air comprimé que le combustible alors injecté s'enflamme. Comparativement au moteur à explosion, le moteur Diesel ne possède ni carburateur, ni système d'allumage, mais chaque cylindre a un système d'alimentation propre qui comprend : un injecteur et un élément de la pompe d'injection. [4]

I.4.5. Les avantages et les inconvénients du moteur à combustion interne

I.4.5.1. Les avantages du moteur à combustion interne

- Les moteurs à combustion interne sont assez légers et petits, compensant un couple un peu faible par une vitesse de rotation élevée. Leur source d'énergie est peu encombrante et rapidement « renouvelable », ce qui en fait des moteurs tout à fait indiqués pour équiper de petits véhicules roulants, mais aussi volants.
- 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, sans qu'il soit nécessaire de procéder à des modifications importantes.
- L'essence d'origine pétrolière est parfois remplacée par de l'alcool ou du gaz et le gazole par des huiles végétales, ce qui lui donne un intérêt même en cas d'absence de combustibles fossiles.

I.4.5.2. Les inconvénients du moteur à combustion interne

- Ces moteurs ne sont vraiment efficaces qu'à assez basse altitude, là où la teneur en oxygène de l'air est forte ; les moteurs à combustion interne ont permis l'envol des avions, mais ils les limitent également dans leur évolution. On peut compenser partiellement cet inconvénient par l'utilisation de compresseurs ou turbocompresseurs. Ils sont inutilisables dans des milieux ne contenant pas de dioxygène (sous-marins, véhicules extra-terrestres).
- La combustion entraîne le rejet de gaz polluants. Ils sont une des principales sources de pollution atmosphérique des villes.

- Le rendement du moteur à combustion interne est plutôt mauvais comparativement au moteur électrique son rendement se dégrade très fortement en dehors de la plage de fonctionnement optimal.
- Dans le cas où la vitesse de rotation du dispositif doit pouvoir varier significativement (véhicule, par exemple), ils nécessitent d'inter-calage d'un système mécanique complexe (boîte de vitesses).
- Le couple est nul au démarrage, d'où la nécessité d'un dispositif auxiliaire pour démarrer le moteur (manivelle, démarreur électrique).
- Ils utilisent généralement un carburant d'origine fossile, ils ont donc besoin d'une source d'énergie qui n'est pas renouvelable à l'échelle humaine. Son utilisateur dépend de la fourniture de carburant et de son coût. [2]

1.5. Conclusion

Cette généralité sur les moteurs est loin d'être complète. Néanmoins, elle a permis de rappeler les connaissances qui seront nécessaires à la bonne compréhension de la problématique de ce mémoire.

Les contraintes actuelles, écologiques et économiques, imposent aux constructeurs automobiles de réduire la consommation des moteurs Diesel. Les attentes des conducteurs en termes d'agrément de conduite et de performances sont elles aussi très importantes. Un moteur automobile doit être aujourd'hui propre, efficace et performant. Afin d'améliorer ces nouveaux moteurs Diesel, il convient donc de maîtriser la combustion à l'intérieur du cylindre.

La combustion est un phénomène très compliqué qui met en jeu plusieurs aspects (chimiques, physiques, mécaniques, thermiques...). Afin de déterminer les différents paramètres caractéristiques dans n'importe quel point du volume de contrôle, on procède à la résolution des équations du bilan aérothermochimique, associés au système étudié. La solution analytique est presque impossible surtout dans le cas turbulent et non adiabatique où les équations sont non linéaires et fortement couplées. On opte donc pour les solutions numériques et ceci nécessite des modèles pour surmonter le problème de fermeture du système. [1]

Chapitre II : Etude du moteur à essence

II.1. Introduction

Le moteur à essence ou à allumage commandé est relativement plus léger et plus rapide dans les bas régimes et lorsqu'il est froid, car l'allumage se fait par l'intermédiaire d'une bougie. Il est relativement plus silencieux, puisque l'explosion du mélange air-carburant dans un moteur Diesel, à la suite de l'auto-inflammation, provoque une onde de choc importante dont le bruit ressemble à une sorte de claquement. Les régimes moteurs étant de surcroît plus élevés, les véhicules de sport et les voitures de luxe sont généralement munis de moteurs à allumage commandé. [10]

II.2. Définition de moteur à essence (à allumage commandé)

C'est une machine thermique qui transforme l'énergie thermique vers l'énergie mécanique par bougie, dans lesquels la combustion de l'essence est amorcée par l'étincelle d'une bougie ; ils possèdent un système d'allumage commandé ; le mélange d'air et d'essence pouvant se faire

- Soit par injection.
- Soit par carburateur (depuis le 01/01/93, tous les véhicules neufs vendus en Europe sont équipés d'un système d'injection). Les véhicules de sport et les voitures de luxe sont généralement munis de moteurs à allumage commandé. [11]

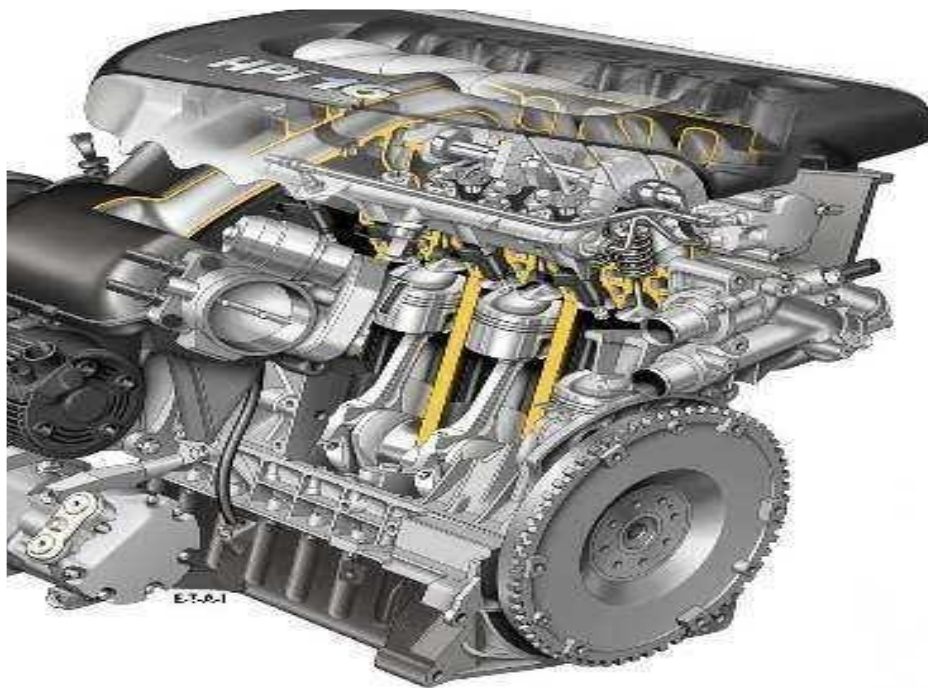


Figure II.1 : Moteur à essence. [12]

II.3. Principe de fonctionnement

Le cycle moteur a été défini par Beau de Rochas en 1862 puis mis en œuvre par Étienne Lenoir en 1883. Il est composé de quatre étapes (Figure II.2) au cours desquelles le piston effectue quatre mouvements linéaires :

- admission du mélange
- compression
- combustion/détente
- échappement

Le cycle commence à un point mort haut, où le piston est à son point le plus élevé. [13]

II.3.1. Les quatre temps du moteur à essence

✓ 1er temps : l'admission

Ce temps a pour rôle de faire remplir le volume du cylindre par le carburant débutant avec l'ouverture de la soupape d'admission et la descente du piston du PMH au PMB, ce mouvement engendre une dépression dans le cylindre et cela va permettre la pénétration du mélange air-essence produit par le carburateur. A l'arrivée du piston au PMB, la soupape de l'admission se ferme. Durant ce temps la soupape d'échappement se maintient fermée.

✓ 2ème temps : la compression

Ce temps a pour rôle de comprimer le carburant introduit durant l'admission. Pendant le temps de compression, les soupapes d'admission et d'échappement sont fermées et le piston monte en comprimant le mélange air essence emprisonné dans la chambre de combustion. En fin de compression, la pression atteinte habituellement 8 bars et la température peut atteindre 400 à 500 °C. A la fin de ce deuxième temps, le vilebrequin a effectué un tour complet.

✓ 3ème temps : la combustion et la détente

Le début du temps de combustion, aussi appelé d'explosion ou de détente s'amorce avec l'éclatement de l'étincelle aux électrodes de la bougie d'allumage, La température dans le cylindre durant la combustion est très élevée et la pression de combustion peut atteindre ou excéder 30 bars. La détente des gaz hautement comprimés repousse avec force le piston vers le bas de sa course. La descente du piston vers le PMB transforme l'énergie thermique du carburant en travail mécanique. Peu avant le PMB, la pression dans le cylindre est de 3 à 5 bars et la température diminue. Le temps de combustion est le seul qui donne une impulsion motrice au vilebrequin, la contribution des trois autres temps est toutefois essentielle pour assurer un maximum de rendement.

✓ 4^{ème} temps : l'échappement

Le temps d'échappement débute théoriquement au PMB, la pression interne produite par le mouvement ascendant du piston expulse les gaz brûlés par l'ouverture de la soupape d'échappement. En pratique, les concepteurs choisissent d'amorcer l'échappement quelques degrés avant le PMB afin d'exploiter le résidu de pression, de l'ordre de 3 bars, encore présent dans le cylindre. [14]

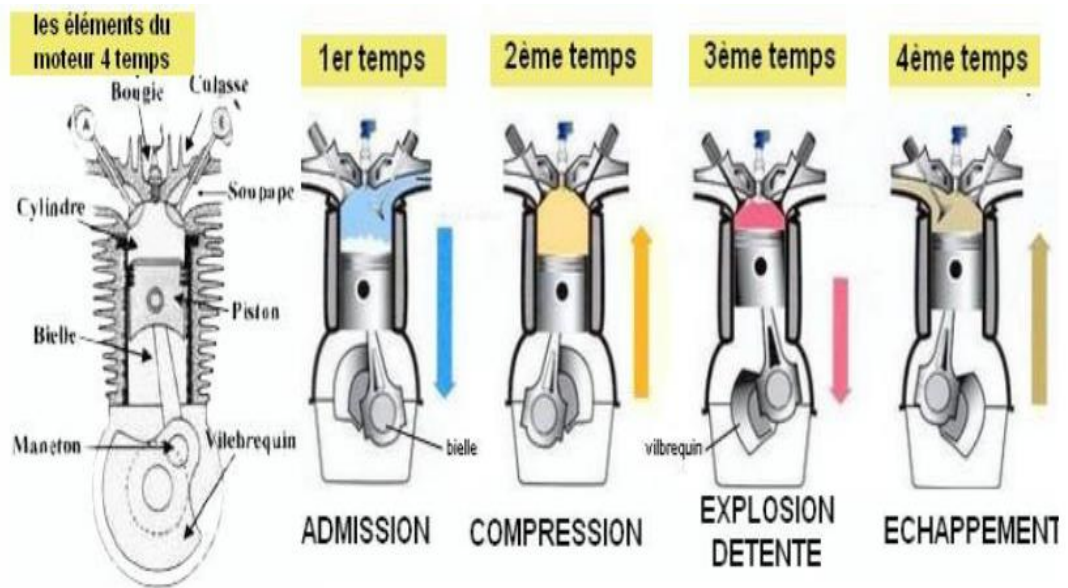


Figure II.2 : Principe de fonctionnement du moteur à essence à 4 temps. [15]

Tableau II.1 : L'ordre d'allumage du moteur à 4 cylindres. [11]

	Cylindre 1	Cylindre2	Cylindre 3	Cylindre 4
0°	ADM	COMP	ECH	INF-DET
180°				
180°	COMP	INF-DET	ADM	ECH
360°				
360°	INF-DET	ECH	COMP	ADM
540°				
540°	ECH	ADM	INF-DET	COMP
720°				

II.3.2. Diagramme théorique

Le diagramme (Figure II.3) représente les pressions dans le cylindre et les positions PMB et PMH

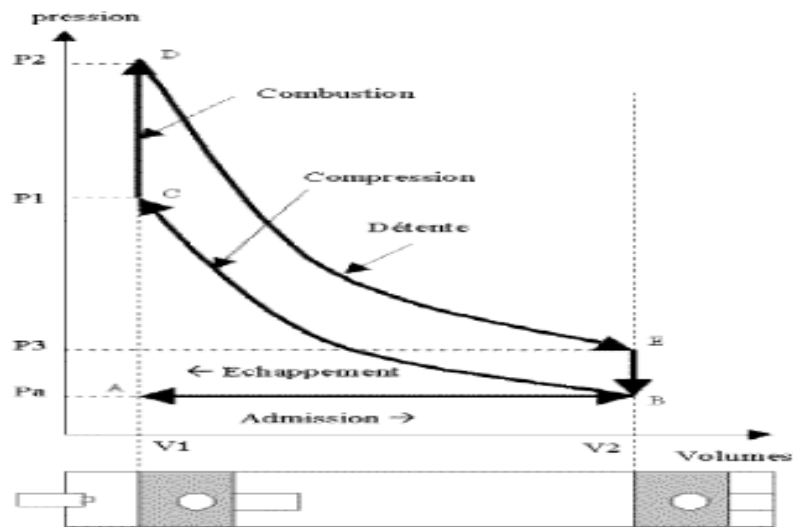


Figure II.3 : Diagramme du cycle de Beau de Rochas. [14]

On modélise le cycle par des transformations particulières :

- Admission A-B : Isobare
- Compression B-C : Adiabatique
- Combustion C-D : Isochore, Détente D-E : Adiabatique
- Ouverture de la soupape E-B : Isochore,
- Echappement B-A : Isobare. [14]

II.3.3. Cycle réel

La première réalisation pratique d'un moteur à piston a été réussie par Otto chez Deutz à Cologne en 1876 (Figure II.4). Sur ce moteur, l'évolution de la pression relevée ne correspondait pas exactement au cycle théorique et le rendement en était très inférieur.

En voici les raisons :

Admission : l'inertie des gaz augmentant avec la vitesse de rotation du moteur est responsable du remplissage incomplet du cylindre.

Compression : la compression n'est pas adiabatique. Du fait de la communication de la chaleur aux parois, la pression des gaz s'élève moins vite que dans la loi adiabatique.

Combustion : la combustion du mélange air/essence n'est pas instantanée au PMH d'où une zone de combustion arrondie sur le diagramme.

Détente : la détente des gaz brulés n'est pas adiabatique car les gaz cèdent une partie de leur chaleur aux parois.

Echappement : en fin de détente, la pression des gaz est nettement supérieure à la pression atmosphérique. [16]

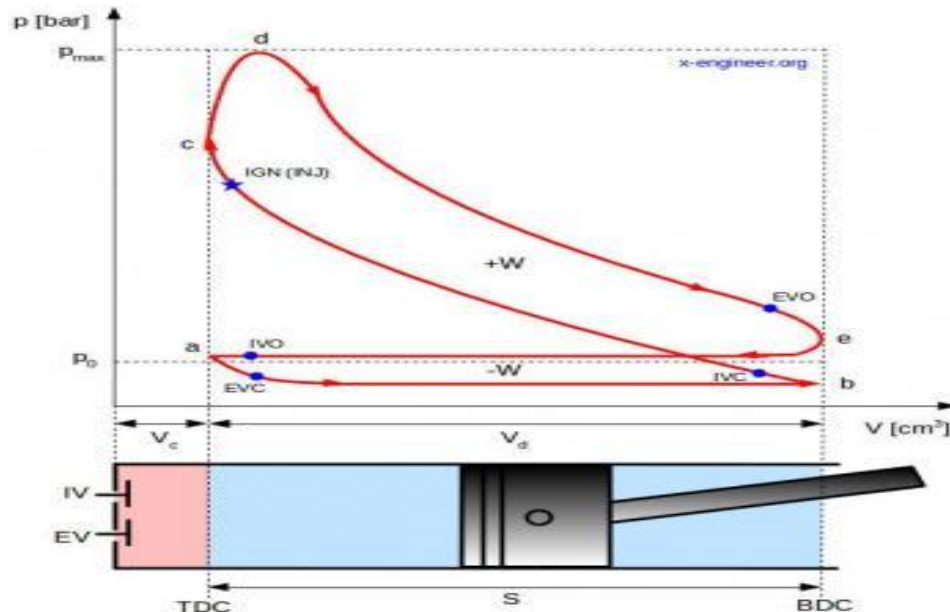


Figure II.4 : Diagramme du cycle réel. [16]

II.3.4. Cycle deux temps

Le cycle d'un moteur deux temps est constitué de deux mouvements linéaires du piston au lieu de quatre (Figure II.5) lors d'un cycle de Beau de Rochas, bien que les quatre mêmes opérations (admission, compression, combustion/détente et échappement) soient toujours effectuées.

Les deux étapes sont les suivantes :

- admission/compression
- combustion-détente/échappement (balayage des gaz)

Lors de la détente, le piston (5) est au point mort haut. La bougie initie la combustion et le piston descend en comprimant en même temps le mélange présent dans le carter, sous le piston. C'est la partie motrice du cycle, le reste du parcours sera dû à l'inertie créée par cette détente. Lors de cette descente du piston, l'entrée (6) du mélange dans le carter se ferme.

A l'échappement, le piston arrivé au point mort bas débouche les lumières d'échappement (2) et d'arrivée de mélange dans le cylindre (3) : le mélange pénètre dans le cylindre et chasse les gaz de la combustion (zone 1). Il s'agit de l'étape d'admission - échappement.

Au moment de la compression, le piston remonte et comprime le mélange dans le cylindre. Il rebouche l'échappement (2) et l'entrée de mélange dans le cylindre (3), tout en créant une dépression dans le carter (4) qui va permettre l'admission du mélange air-essence par la

lumière d'arrivée (6) dont l'entrée a été libérée par la position du piston proche du point mort haut. Une fois arrivé à nouveau au point mort haut, le cycle peut recommencer à partir du premier point. [13]

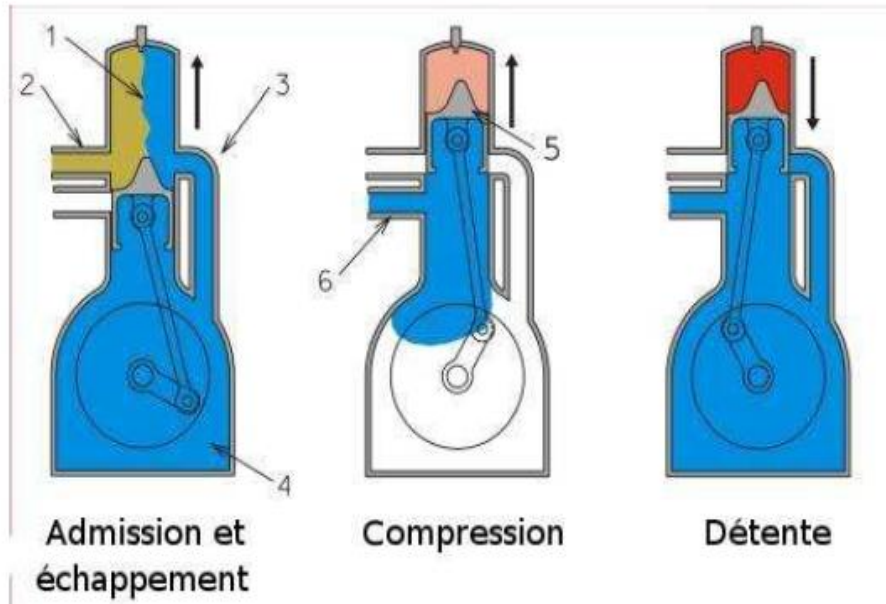


Figure II.5 : Principe de fonctionnement du moteur à essence à 2 temps. [13]

II.4. Système d'alimentation

Le système d'alimentation a pour rôle d'amener au niveau du moteur l'air et l'essence nécessaires à une bonne combustion.

Le circuit d'alimentation comprend deux circuits différents :

- circuit d'alimentation en air ;
- circuit d'alimentation en essence.

Pour réaliser le mélange deux solutions sont utilisées :

- Système à carburateur (Figure II.6) : le mélange air-essence est obtenu dans le carburateur puis introduit dans le cylindre de moteur ;
- Système d'injection (Figure II.7) : le mélange est réalisé dans la pipe d'admission, l'air est acheminé par voie classique et l'essence est injectée sous pression par des injecteurs (un par cylindre). [17]

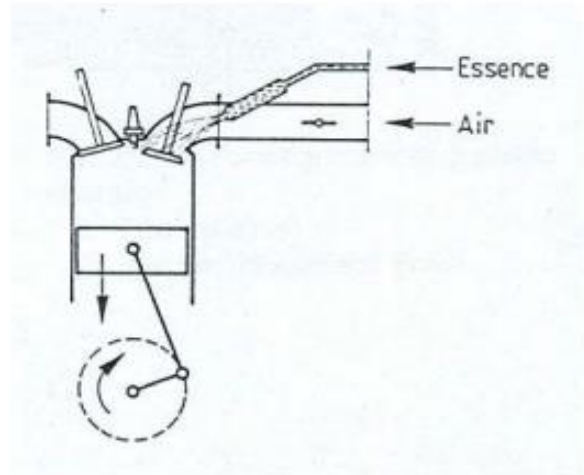
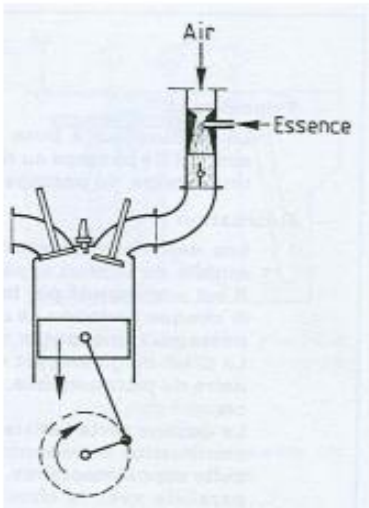


Figure II.6 : Carburation par carburateur. [17] Figure II.7 : Carburation par injection. [17]

II.5. Système à carburateur

II.5.1. La carburation

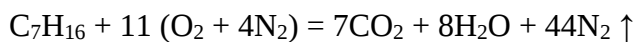
La carburation est l'ensemble des opérations réalisant le mélange intime du carburant avec l'air dans des proportions précises afin d'obtenir une combustion rapide et complète.

Pour réaliser la carburation, il est nécessaire d'effectuer des opérations suivantes : dosage, vaporisation et homogénéité.

II.5.1.1. Dosage

C'est la proportion de la quantité de carburant par rapport à l'air.

Prenons le cas de la combustion de l'essence C_7H_{16} (Heptane hydrocarbure) et reportons-nous à l'équation chimique de combustion de ce carburant, nous trouvons :



Si nous admettons que l'essence utilisée est uniquement composée d'heptane et que l'air ambiant contient en masse 23% d'oxygène.

Connaissant la masse atomique de chaque corps :

carbone = 12, hydrogène = 1 et oxygène = 16,

On a : $(12 \times 7) + 16 = 100$ g d'heptane brûlent

dans $(22 \times 16) = 352$ g d'oxygène.

Ces 352 g d'oxygène étant contenus dans $352 \times 100 / 23 = 1530$ g d'air.

Nous constatons qu'il faut 15.3 g d'air pour faire brûler 1 g d'essence. Ce dosage constitue le dosage parfait. [17]

Un mélange comportant un dosage de moins de 15.3 g d'air pour un gramme d'essence est appelé mélange riche ; s'il comporte plus de 15.3 d'air nous le nommerons mélange pauvre.

Le mélange est incombustible si le dosage essence/air est en dessous de 1/28 ainsi qu'au-dessus de 1/8.

La puissance maximale de moteur est obtenue avec un dosage de 1/12.5.

II.5.1.2. Vaporisation

C'est le processus de transformation de carburant de l'état liquide en état gazeux pour mélanger avec l'oxygène de l'air.

II.5.1.3. Homogénéité

Chaque molécule de carburant devant, pour brûler, être entourée des molécules d'oxygène.

L'homogénéité est réalisée par un brassage du mélange dans les tubulures d'admission et se terminant dans la chambre de combustion au moment de la compression.

II.5.2. Alimentation en air

Pour avoir une combustion correcte le rapport essence/air doit valoir 1/15 en masse, mais 1/9000 en volume.

On conçoit aisément la nécessité de filtrer une telle quantité d'air. Ceci afin d'éviter l'entrée de poussières et particules abrasives qui pourraient détériorer les parties mobiles du moteur.

Le filtre à air à deux rôles :

- La boîte à air sert de silencieux à l'aspiration en limitant le sifflement.
- La cartouche (filtre) sert de retenir les impuretés de l'air aspiré par le moteur.

Pour les pays dont l'air contient des poussières particulièrement néfastes on utilise un filtre à air à bain d'huile (Figure II.8).

L'air aspiré est contraint de changer brusquement de direction à proximité de la surface de l'huile. Les poussières par l'inertie, continuent tout droit et tombent dans l'huile. Un filtre à air encrassé freine l'entrée d'air et gêne le remplissage du moteur. Il s'ensuit une augmentation de la consommation d'essence et des imbrûlés. Il est donc indispensable de le nettoyer ou de la changer périodiquement. [17]

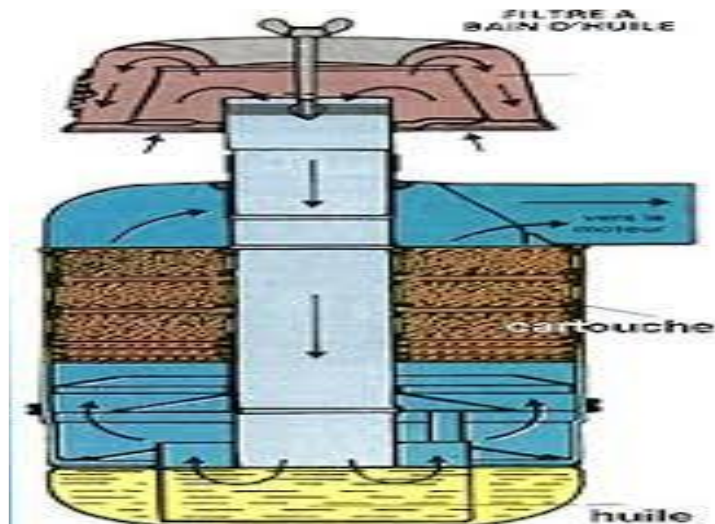


Figure II.8 : Filtre à air à bain d'huile. [18]

II.5.3. Alimentation en carburant

II.5.3.1. Circuit complet

Le circuit complet d'un système d'alimentation en carburant comprend (Figure II.9) :

- le réservoir : pour contenir un volume d'essence.
- la pompe à essence : aspire l'essence dans le réservoir et remplit la cuve du carburateur.
- le carburateur : réalise le mélange air-essence.
- le filtre à air : assure l'alimentation du carburateur en air propre.

1. Filtre à air, 2. Carburateur, 3. Papillon des gaz, 4. Collecteur d'admission, 5. Réservoir de carburant, 6. Filtre à carburant, 7. Excentrique sur arbre à cames, 8. Pompe mécanique d'alimentation en carburant

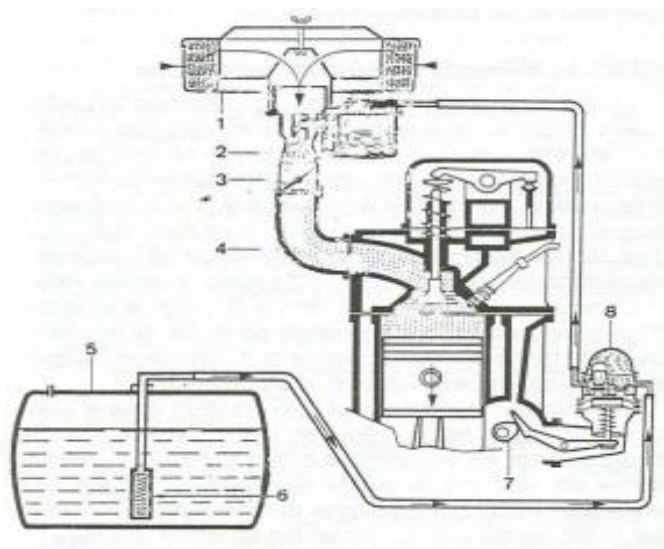


Figure II.9 : Système d'alimentation d'un moteur. [17]

II.5.3.2. Pompe à essence

Il existe deux types de pompes :

- la pompe à entraînement mécanique : très répandue sur les moteurs à carburateur.
- la pompe électrique : sur les véhicules à injection et haut de gamme.

a. Pompe à essence mécanique

C'est une pompe aspirante-refoulant très généralement commandée par une came spéciale de l'arbre à cames, soit directement, soit par l'intermédiaire d'un poussoir.

Elle comporte : une membrane, un clapet d'aspiration, un clapet de refoulement, un levier de commande actionné par la came et maintenu contre elle par un ressort, un ressort taré de pression d'essence et un filtre tamis métallique.

✓ **Aspiration** (Figure II.10)

La membrane est tirée vers le bas par le levier de commande actionné par la came.

La descente de la membrane crée une dépression qui ouvre le clapet d'aspiration et aspire l'essence. Le ressort taré est comprimé. [17]

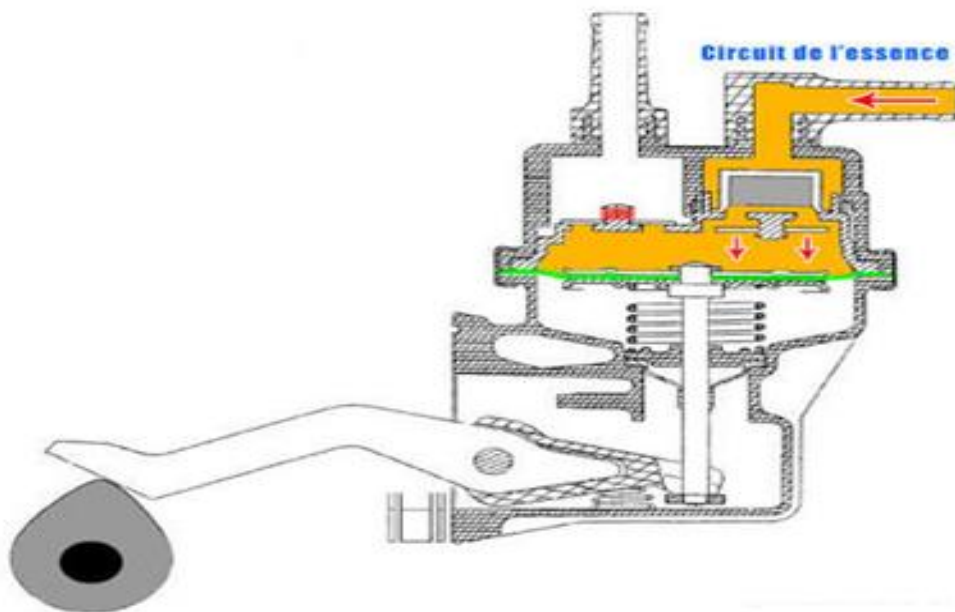


Figure II.10 : Pompe à membrane (aspiration). [19]

✓ **Refoulement** (Figure II.11)

La came ayant tourné, le refoulement est alors réalisé grâce au ressort taré qui, appuyant avec une force déterminée sur la membrane, engendre la pression de refoulement : la pression d'essence. Cette dernière ouvre le clapet de refoulement. [17]

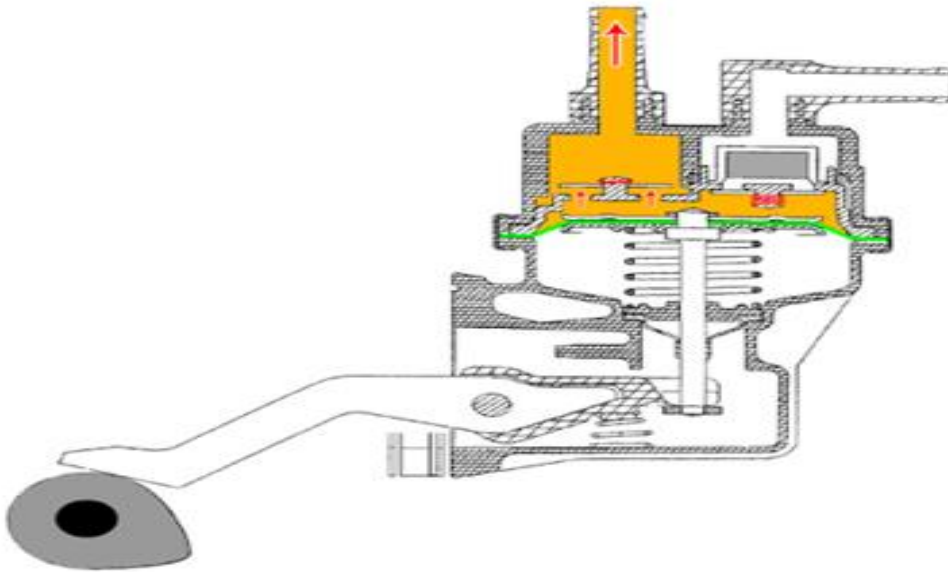


Figure II.11 : Pompe à membrane (refoulement). [19]

b. Pompe à essence électrique

On a rencontré plusieurs types de pompe à essence électrique :

- Pompe à membrane : la commande mécanique est remplacée par un système magnétique de bobinage.
- Pompe à engrenage entraînée par un moteur électrique à courant de batterie.
- Pompe rotative à galets entraînée également par un moteur électrique à aimants permanents.

1. Aspiration, 2. Limiteur de pression, 3. Pompe multicellulaire à rouleaux, 4. Induit du moteur, 5. Clapet de non-retour, 6. Refoulement, 7. Rotor, 8. Rouleau, 9. Surface de guidage des rouleaux

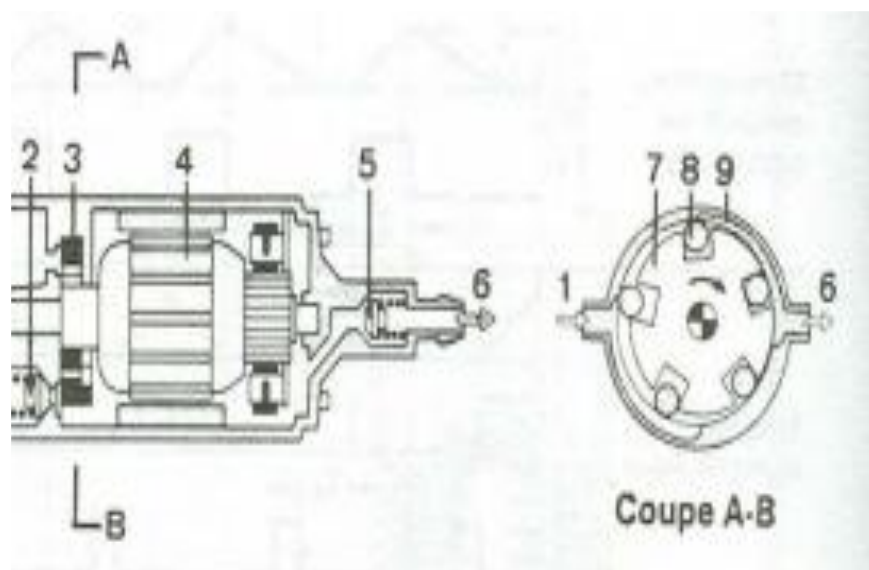


Figure II.12 : Pompe à carburant Bosch. [17]

c. Avantages de la pompe électrique

- On peut la placer où l'on veut sur le moteur ;
- Elle entre en action dès l'établissement du contact avec la clé ;
- Située dans un endroit frais (par exemple dans le réservoir) elle évite les phénomènes de percolation.

II.5.3.3. Carburateurs

a. Description du carburateur

Le rôle de carburateur est de réaliser le mélange de l'air et de l'essence dans des conditions permettant une carburation correcte à tous les régimes du moteur.

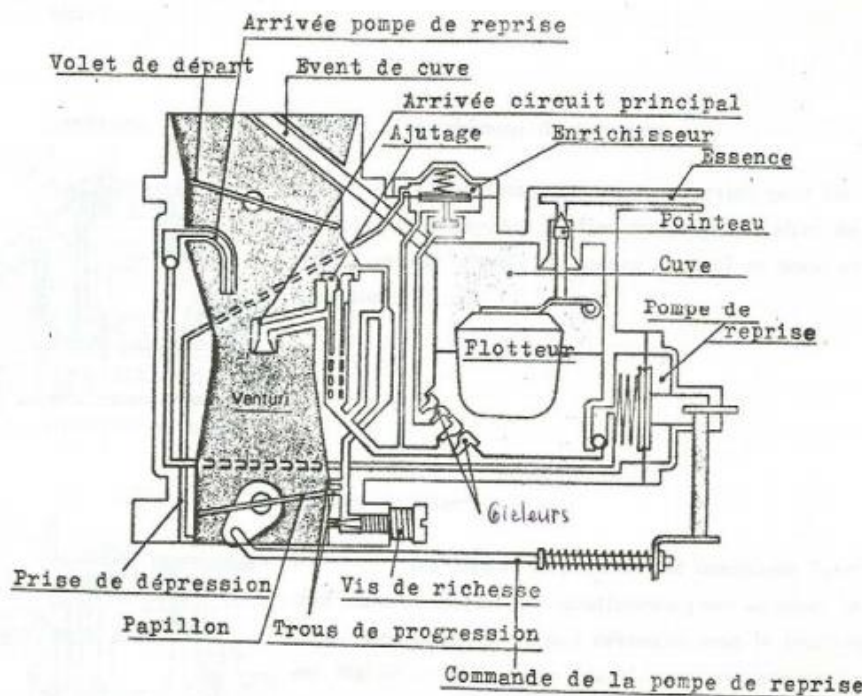


Figure II.13 : Circuits internes du carburateur. [17]

b. Circuit d'alimentation

Pour réaliser le mélange l'air circule dans le corps du carburateur de l'amont vers l'aval. Le mélange s'effectue dans une zone appelée chambre de carburation (venturi). Le gicla gé de l'essence est limité par un gicleur principal.

Une réserve appelée cuve à niveau constant est munie d'un dispositif constitué d'un robinet pointeau actionné par un flotteur.

L'essence est amenée du réservoir par une pompe sous une légère pression. Lorsque l'essence est au niveau désiré dans la cuve, le flotteur en montant actionne le pointeau qui obture

l'arrivée. Dès qu'il y a consommation de carburant, le pointeau s'ouvre jusqu'à obtention du niveau requis.

Un trou de mise à l'air libre de la cuve permet à l'essence de s'écouler grâce à l'action de la pression atmosphérique.

C. Circuit de ralenti

Au ralenti le papillon est quasiment fermé, la dépression dans le venturi est insuffisante pour amorcer le circuit principal. Le circuit de ralenti débouche sous le papillon, le dosage est réalisé par un gicleur de ralenti (non présenté) pour l'essence et par l'entrebâillement du papillon pour l'air. [17]

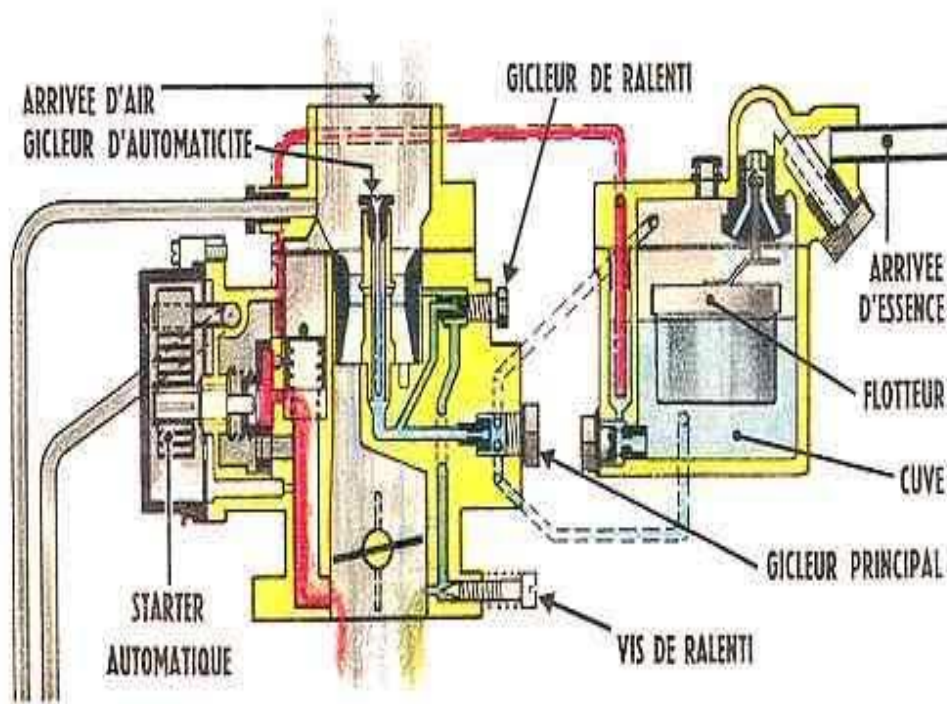


Figure II.14 : Circuit de ralenti. [20]

d. Circuit principal

A une certaine ouverture de papillon, dans le diffuseur on a une augmentation de la dépression qui amorce le circuit principal. L'essence passe des cuves aux puits à travers le gicleur principal qui en contrôle le débit. Dans les puits on a un premier mélange, réalisé dans les tubes d'émulseurs, avec l'air contrôlé par le gicleur d'air. Des puits le mélange arrive au venturi où commence la carburation avec l'air aspiré par les conduits d'admission. Le circuit principal assure un dosage économique de l'ordre 1/18 aux moyens régimes. [17]

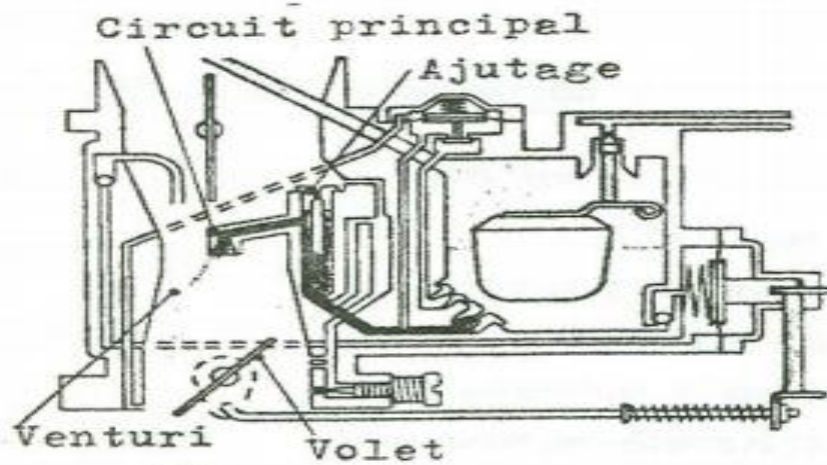


Figure II.15 : Circuit principal. [17]

e. Circuit de pompe de reprise

Lors d'une brusque accélération, le papillon s'ouvre très rapidement ce qui provoque un fort appel d'air et d'essence, mais du fait de la différence de densité l'arrivée d'essence est retardée. Le mélange risque de devenir pauvre, il faut l'enrichir. C'est le rôle de la pompe de reprise, actionnée mécaniquement par la commande du papillon elle envoie un surplus d'essence à chaque accélération.

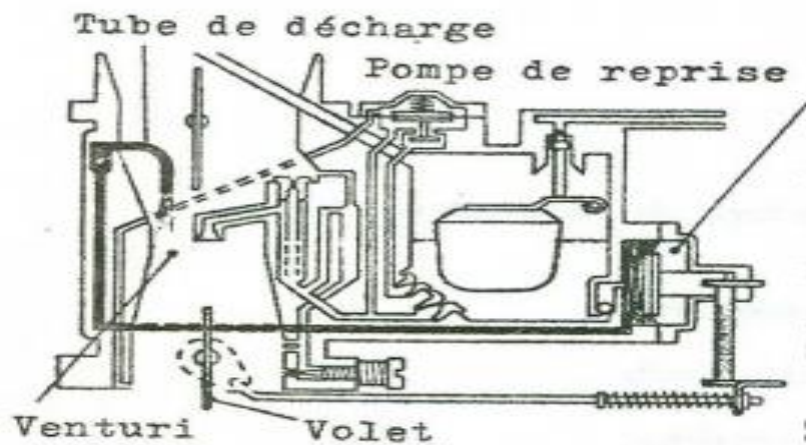


Figure II.16 : Circuit de reprise. [17]

f. Circuit d'enrichissement de puissance

Ce système qui entre en action pour les grandes ouvertures de papillon permet d'avoir un dosage de 1/12 et donc un gain en puissance. Dans des conditions bien déterminées de charge et régime (effet du ressort > effet de la dépression) le gicleur d'enrichissement ajoute son débit à celui du circuit principal. L'ouverture de ce gicleur est commandée par un clapet à membrane actionné par la dépression régnant dans la tubulure d'admission.

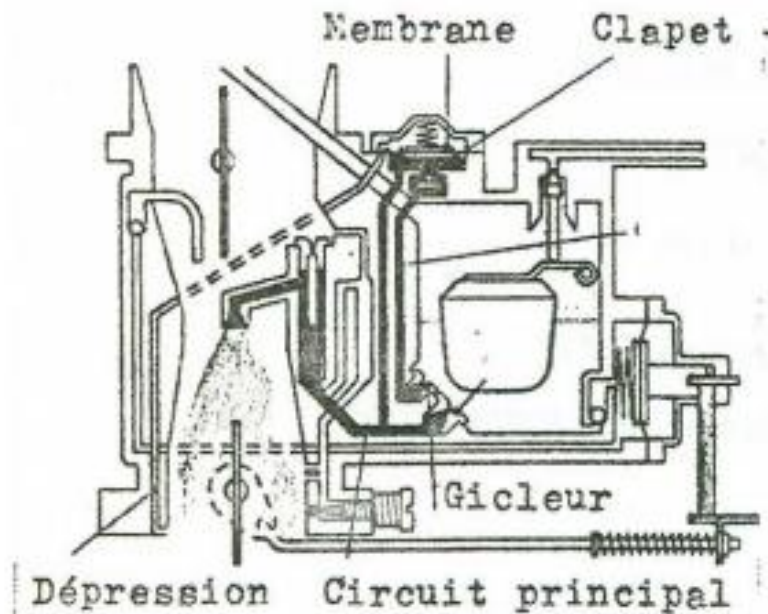


Figure II.17 : Circuit d'enrichissement de puissance. [17]

II.6. Système d'injection

II.6.1. Principe de fonctionnement

L'injection d'essence consiste à introduire l'air par une tubulure d'admission de forte section et à injecter le carburant en amont plus près de la soupape d'admission (injection directe) ou directement dans le cylindre (injection directe). L'injection peut être continue ou discontinue, mécanique ou électronique.

II.6.2. Avantages du système d'injection

- L'augmentation des performances du moteur (couple, puissance,...).
- Economie de carburant grâce au dosage très précis.
- Diminution des émissions toxiques (meilleure combustion).
- Meilleur remplissage en air des cylindres donc souplesse accrue.

II.6.3. Différents systèmes d'injection

On peut classer les systèmes d'injection selon l'endroit où se fait l'injection du carburant dans l'air aspiré par le moteur :

- l'injection est directe si elle s'effectue dans la chambre de combustion du cylindre.
- L'injection est indirecte si elle a lieu dans la tubulure d'admission, plus ou moins près de la soupape d'admission, le jet d'essence étant dirigé vers la soupape.

- L'injection centralisée si elle se fait dans la partie du collecteur commune à tous les cylindres, à l'endroit qu'occuperait un carburateur.

On peut également différencier les systèmes d'injection par le dispositif de régulation :

- Dans l'injection mécanique, la pompe entraînée mécaniquement par le moteur, effectue la mise en pression du carburant et dose le volume injecté.
- Dans l'injection électronique, la pompe électrique, effectue l'alimentation du carburant sous pression ; les fonctions de dosage, régulation, injection sont totalement ou partiellement pilotées par une centrale électronique. [17]

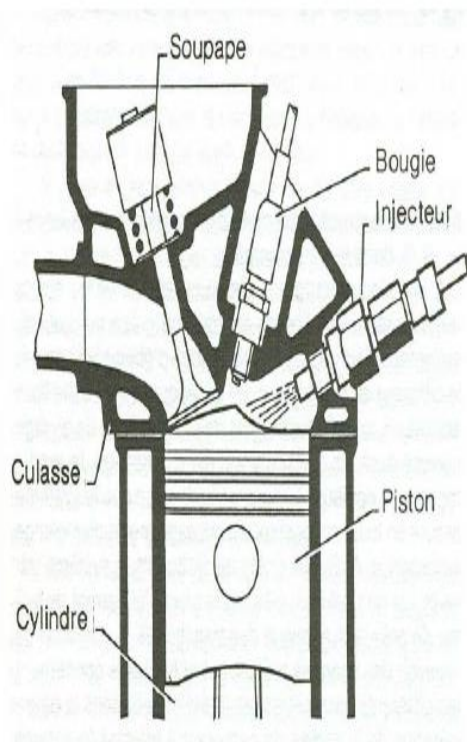


Figure II.18 : Injection directe. [17]

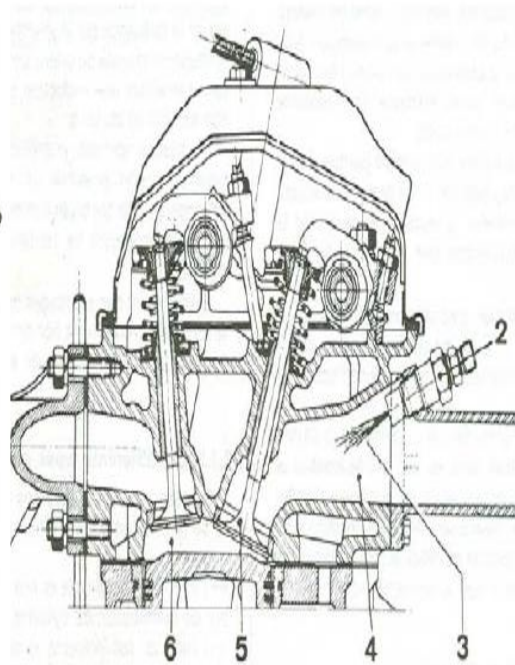


Figure II.19 : Injection indirecte. [17]

Les plus répandus actuellement sont les systèmes Bosch :

- K-Jetronic : injection mécanique continue indirecte.
- L ou D-Jetronic : injection électronique discontinue indirecte.

II.6.3.1. Principe de l'injection K-Jetronic

L'air est dosé par un papillon placé dans la tubulure d'admission. Le carburant est calibré par un doseur dont le tiroir est commandé par le déplacement du débitmètre d'air placé dans la tubulure d'admission.

Le doseur reçoit le carburant d'une pompe électrique par l'intermédiaire d'un régulateur de pression. Les injecteurs débitent en permanence un carburant dont la pression et le débit sont déterminés par le débit de l'air et sa pression absolue (≈ 4.6 bars).

Pour le départ à froid, un électro-injecteur unique injecte un supplément de carburant à l'entrée du collecteur d'admission. [17]

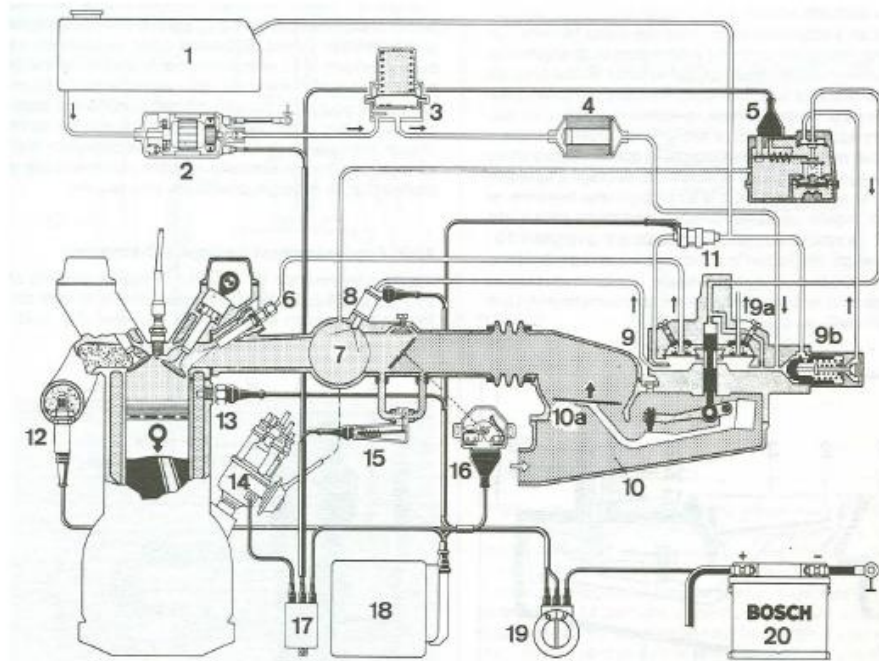


Figure II.20 : Schéma de l'installation du système K-Jetronic. [17]

- | | |
|---|---------------------------------------|
| 1. Réservoir à carburant | 10. Débitmètre d'air |
| 2. Pompe électrique à carburant | 10a. Plateau-sonde |
| 3. Accumulateur de carburant | 11. Electrovanne de cadence |
| 4. Filtre à carburant | 12. Sonde Lambda |
| 5. Correcteur de réchauffage | 13. Thermo contact temporisé |
| 6. Injecteur | 14. Allumeur |
| 7. Collecteur d'admission | 15. Commande d'air additionnel |
| 8. Injecteur de départ à froid | 16. Contacteur de papillon |
| 9. Régulateur de mélange | 17. Relais de commande |
| 9a. Doseur-distributeur de carburant | 18. Centrale de commande électronique |
| 9b. Régulateur de pression d'alimentation | 19. Commutateur d'allumage-démarrage |
| 20. Batterie | |

II.7. Conclusion

Ce chapitre reprend une vue sur le principe de fonctionnement de moteur essence, la structure, avec indication des différentes caractéristiques. Enfin on peut dire que le moteur, alimenté par un système d'injection à gestion électronique, offre un rendement supérieur, avec une diminution de la consommation et une réduction des émissions polluantes. [21]

Chapitre III : Etude du Moteur Diesel

III.1. Introduction

Conçu par Rudolf Diesel au début des années 1900, le moteur diesel est un moteur à combustion interne dont l'allumage n'est pas commandé mais spontané par phénomène d'autoallumage (auto-inflammation). Pendant le temps de compression, l'air est comprimé à une pression comprise entre 30 et 55 bar (moteurs atmosphériques) ou entre 80 et 110 bar (moteurs suralimentés par turbocompresseur) et simultanément chauffé à une température comprise entre 700 et 900 °C. Cette température suffit pour provoquer l'auto inflammation du carburant injecté peu avant la fin de la compression au voisinage du point mort haut du piston. [10]

III.2. Définition de Moteur Diesel

C'est une machine thermique qui transforme l'énergie thermique vers l'énergie mécanique par pression.

Le moteur diesel (Figure III.1) fonctionne grâce au principe d'auto-inflammation du carburant, selon les 4 étapes suivantes :

- Admission de l'air dans la chambre de combustion.
- Compression de l'air puis injection du carburant.
- Combustion par auto-inflammation du mélange puis détente.
- Echappement des gaz brûlés.

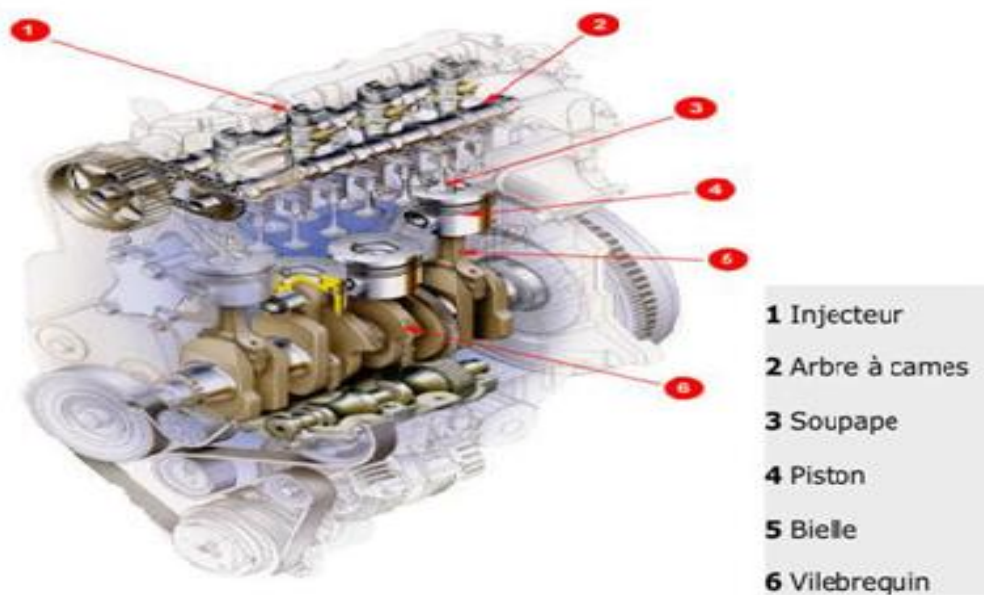


Figure III.1 : Moteur Diesel. [22]

III.3. Principe de fonctionnement

Le fonctionnement d'un moteur à combustion Diesel se décompose en étapes élémentaires plus connues sous le nom de temps moteur.

Un temps moteur correspond à un trajet du PMH vers le PMB, ou inversement (soit un demi-tour de vilebrequin). [14]

III.3.1. Les quatre temps du moteur Diesel

C'est l'ensemble des phases successives nécessaires pour transformer l'énergie calorifique produite dans le cylindre en énergie mécanique :

Le cycle débute avec le piston au point mort haut PMH et se réalise en 2 tours de manivelle c'est-à-dire en 4 courses de piston

✓ Premier temps : Admission

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

✓ Deuxième temps : Compression

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

✓ Troisième temps : Combustion et Détente

Lorsqu'on comprime de l'air, celui-ci s'échauffe d'autant plus que la compression soit forte.

Pour assurer la combustion complète d'un combustible, il faut :

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

✓ Quatrième temps : Echappement

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

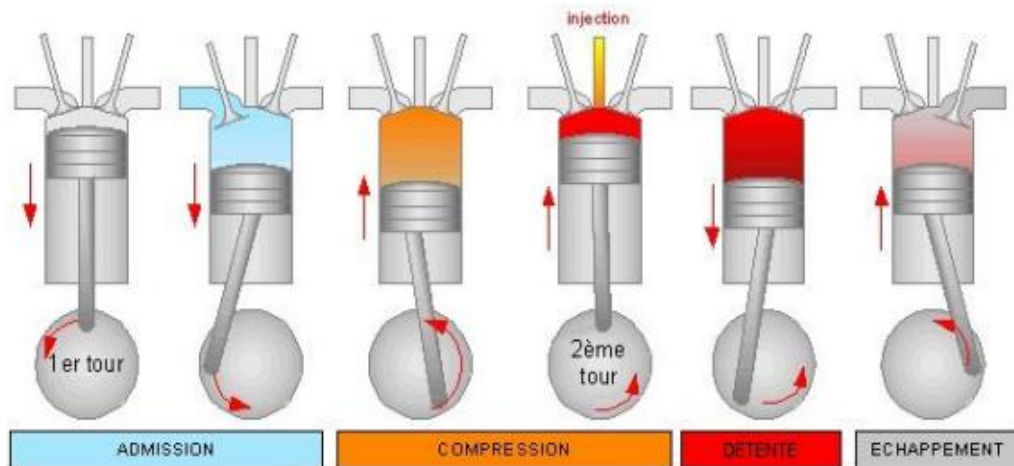


Figure III.2 : Cycle de fonctionnement d'un moteur Diesel à 4 temps. [23]

III.4. Le cycle d'un moteur Diesel à 4 temps

Un cycle est une suite d'opérations qui se succèdent dans un ordre bien défini et à la fin desquelles il est près de recommencer. Sur les automobiles, on utilise surtout les moteurs à 4 temps dont lesquels la combustion du gasoil se déroule en 4 phases (admission, compression, combustion et détente et échappement). [14]

III.4.1. cycle théorique d'un moteur Diesel

L'ordre de marche utilisé pour les moteurs à 4 cylindres est : 1-3-4-2 la répartition des phases des différents cylindres au d'un cycle complet est résumée dans le tableau suivant :

Tableau III.1 : L'ordre d'injection. [14]

<i>CYL 1</i>	<i>Admission</i>	<i>Compression</i>	<i>Comb_Détente</i>	<i>Echappement</i>
<i>CYL 2</i>	<i>Compression</i>	<i>Comb_Détente</i>	<i>Echappement</i>	<i>Admission</i>
<i>CYL 3</i>	<i>Echappement</i>	<i>Admission</i>	<i>Compression</i>	<i>Comb_Détente</i>
<i>CYL 4</i>	<i>Comb_Détente</i>	<i>Echappement</i>	<i>Admission</i>	<i>Compression</i>

✓ 1er temps : L'admission

Remplissage des cylindres avec l'air à pression Atmosphérique : lorsque le piston se déplace de son PMH à son PMB, il y a aspiration d'air par la soupape d'admission ouverte.

Le cylindre restant en communication avec l'atmosphère, on peut dire que la pression dans le cylindre est de 1 atm , $P = 1\text{bar}$ pendant l'admission.

L'admission. La transformation peut être représentée par la droite (0-1).

✓ **2ème temps : La compression**

L'air est fortement comprimé et porter à une température supérieure à celle d'auto-inflammation du carburant, le rapport volumétrique est très élevé.

✓ **3ème temps : La combustion Détente**

Les soupapes d'admission et d'échappement sont toujours fermées ; Le carburant est injecté sous pression en fin de compression et s'enflamme spontanément au contact de l'air surchauffé.

1. Combustion à pression constante : droite (2-3)

C'est une transformation au cours de laquelle le volume et la température du gaz varient alors que sa pression reste constante. Elle ne peut résulter que d'un apport ou d'un retrait de chaleur au gaz.

2. Détente isentropique Détente du gaz chaud le long de la courbe (3-4) qui ramène le volume à V_2 , mais à une pression P_5 supérieure à celle de l'atmosphère.

✓ **4ème temps : Échappement (évacuation des gaz brûlés) :**

Au point 4, la soupape d'échappement s'ouvre pour que les gaz brûlés sortent à l'extérieur du cylindre (début d'échappement). La pression chute de P_4 à P_1 (droites (4-1)). Le piston se déplace du P.M.B au P.M.H (droites (1-0)), c'est son premier point de départ, pour chasser les gaz brûler et permettre le commencement d'un nouveau cycle. [14]

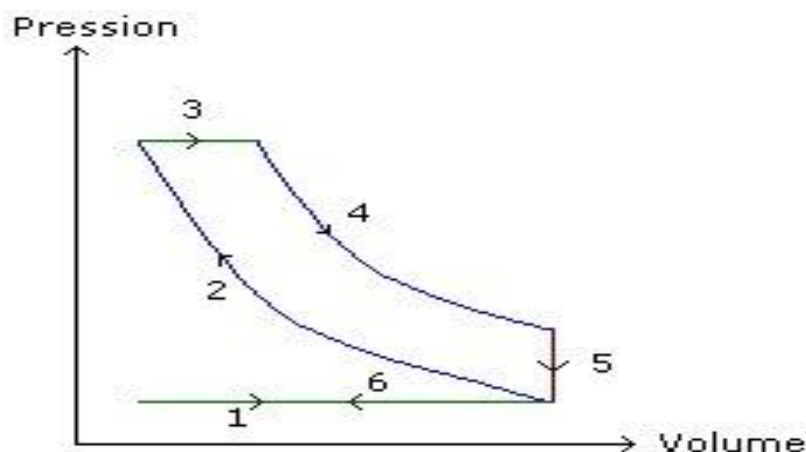


Figure III.3 : Diagramme théorique d'un moteur Diesel. [24]

III.4.2. cycle réel d'un moteur Diesel

Le diagramme théorique ne tient pas compte de certains inconvénients :

- La mise en mouvement d'un gaz n'est pas instantanée due à son inertie et l'ouverture des soupapes n'est pas instantanée.
- La variation de la température est modifiée par les échanges avec l'extérieur.
- Le délai d'inflammation n'est pas pris en compte et la combustion complète demande un certain temps

Pour remédier à ces problèmes et obtenir un rendement aussi bon que possible et un diagramme le plus proche possible du diagramme théorique, on modifie le temps d'ouverture des soupapes ainsi que le point d'allumage de l'ensemble gazeux. [14]

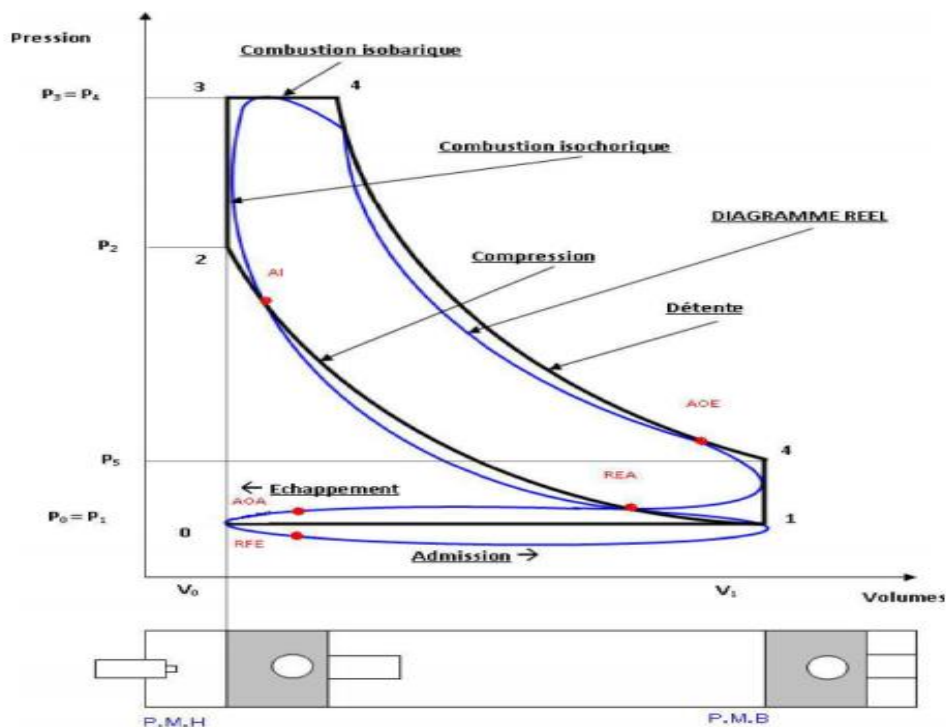


Figure III.4 : Diagramme réel d'un Moteur Diesel. [14]

III.5. Alimentation

III.5.1. Circuits d'alimentation

Les circuits d'alimentation permettent d'amener à la pompe d'injection une quantité de combustible suffisante, parfaitement filtrée, sans émulsion ni présence d'eau et sous une pression déterminée.

Ils participent également à la stabilisation de la température de la pompe d'injection et à l'écrêtage des pointes de pression en fin d'injection.

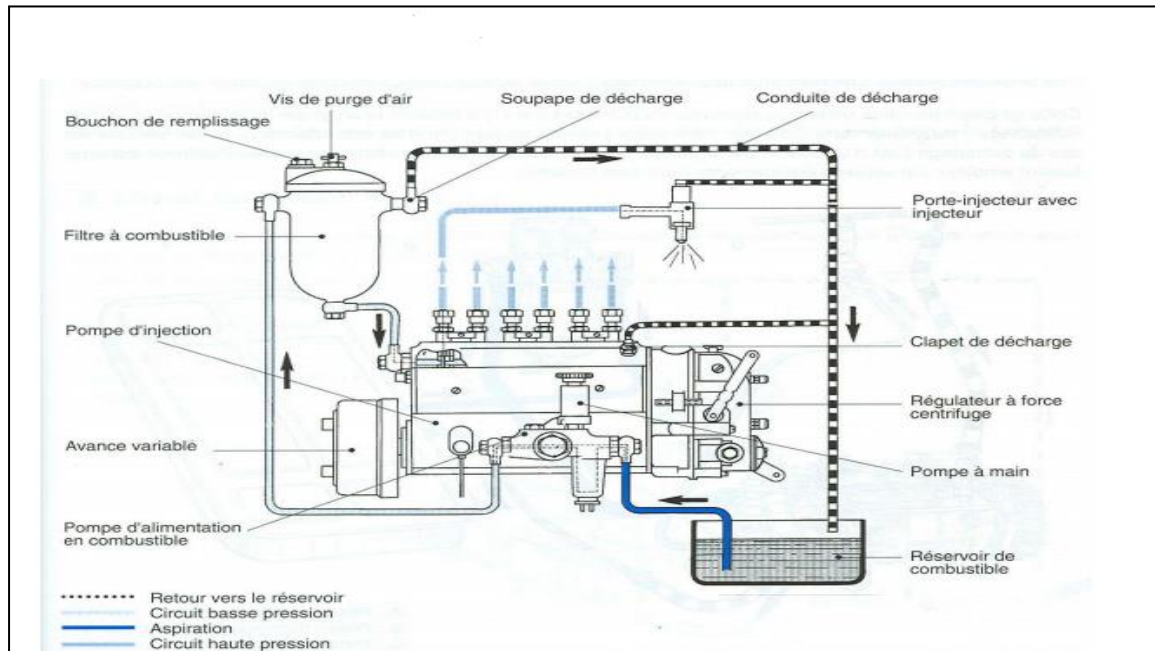


Figure III.5 : Circuit d'alimentation avec pompe en ligne. [25]

III.5.1.1. Circuit en "aspiration"

Le circuit est compris du plongeur dans le réservoir, en passant par le pré-filtre, jusqu'au raccord d'aspiration de la pompe d'alimentation. C'est uniquement sur cette partie du circuit que l'on peut rencontrer la panne appelée "prise d'air" (raccord mal serré, joint défectueux, canalisation percée, ...).

III.5.1.2. Circuit en "basse pression"

Du côté "refoulement" de la pompe d'alimentation, en passant par le filtre principal, jusqu'à la galerie d'alimentation dans la pompe d'injection. Sur cette partie, tout manque d'étanchéité se traduit par une "fuite".

III.5.1.3. Circuit à haute pression

De la sortie de la pompe d'injection aux injecteurs, il comprend :

- les tuyauteries HP et leurs raccords ;
- les porte-injecteurs ;
- les injecteurs.

III.5.1.4. Les pompes d'alimentation

La pression d'alimentation en combustible d'une pompe en ligne classique varie entre 1 bar et 2.5 bars selon le tarage de la soupape de décharge, pour assurer le remplissage optimal des éléments de pompage, avec un débit égal au moins 1.5 à 2 fois le débit de la pompe d'injection au régime nominal de pleine charge.

Ceci après avoir aspiré le combustible dans le réservoir, en passant par le pré filtre, et refoulé celui-ci à travers le (ou les) éléments filtrants (pompe à piston ou à engrenages).

a. Pompes à membrane

Elles sont à commande mécanique comme les pompes à essence, avec généralement une cuve de pré-filtrage. Le tarage du ressort de membrane est légèrement supérieur à celui des pompes à essence (0.3 à 0.6 bars). [25]

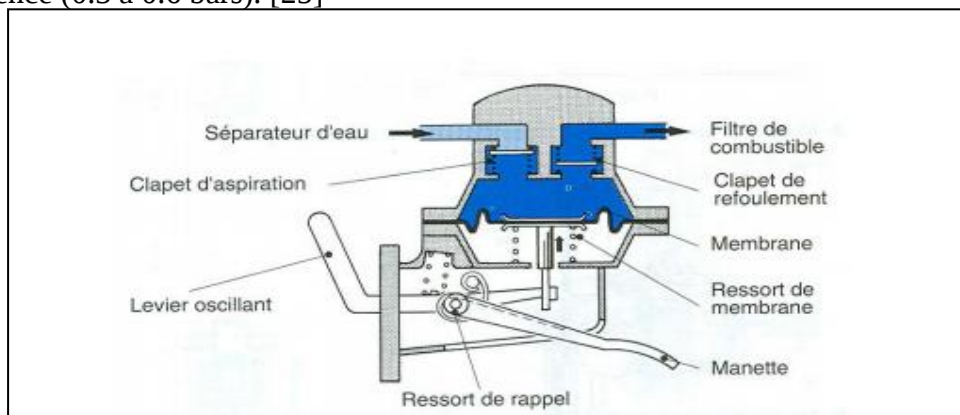


Figure III.6 : Pompe à membrane avec pré-filtré. [25]

b. Pompes à piston

Ce système est le plus fréquent. Elles sont directement montées sur les pompes d'injection et commandées par l'arbre à came de celle-ci. Elles sont autorégulatrices grâce à la valeur de tarage du ressort de piston 2.5 à 4 bars.

▪ Pompe d'alimentation à simple effet (Bosch classique)

✓ Course intermédiaire (figure III.7.a)

L'arbre à cames de la pompe d'injection commande le poussoir à galet. Le piston principal (6), sous la poussée de la tige de pression (1), envoie le liquide contenu dans la chambre A vers la chambre B, en ouvrant le clapet (7). Un volume correspondant à celui déplacé par la tige de pression (1) est envoyé vers le refoulement.

✓ Course refoulement-aspiration (figure III.7.b)

Le sommet de la came étant dépassé, le ressort principal (3) repousse le piston (6) et la tige de pression (1) :

- le combustible de la chambre B est refoulé vers le filtre principal,

- la dépression créée dans la chambre A permet l'ouverture du clapet (5) et l'aspiration du combustible venant du réservoir.

- **Auto-régulation** (figure III.7.c)

Si en B, la pression de gazole est inférieure à celle qu'exerce le ressort (3), le piston demeure au contact de la tige-poussoir (1) et la course est complète. Si, au contraire, la pression de gazole en B atteint celle exercée par le ressort, le piston se sépare de la tige-poussoir et sa course n'est que partielle. Il s'agit là d'une auto-régulation. [25]

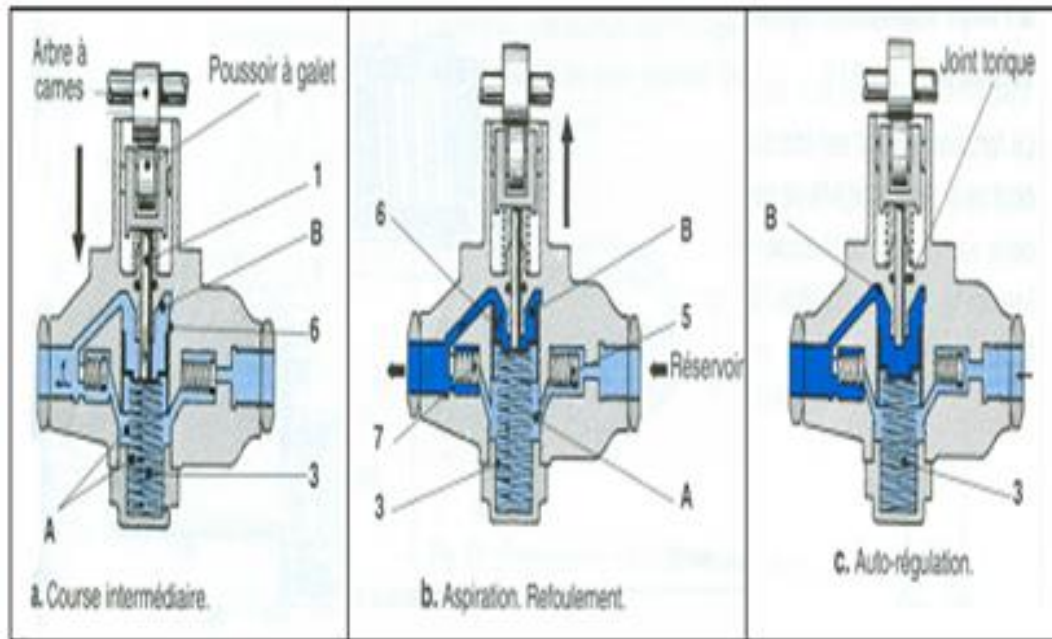


Figure III.7 : Pompe Bosch classique. [25]

▪ Pompe d'alimentation Bosch à double effet

Sous l'action de l'excentrique de commande, le déplacement du piston de pompe vers le bas comprime le ressort provoquant l'ouverture des clapets A1 et R1 ainsi que le refoulement du combustible vers la pompe d'injection.

Lorsque l'excentrique s'efface, le piston se déplace vers le haut sous l'action du ressort provoquant l'ouverture des clapets A2 et R2 et le refoulement vers la pompe d'injection.

Pour chaque déplacement du piston, on obtient une aspiration et un refoulement simultanés du combustible, la pompe d'alimentation est à un double effet. [25]

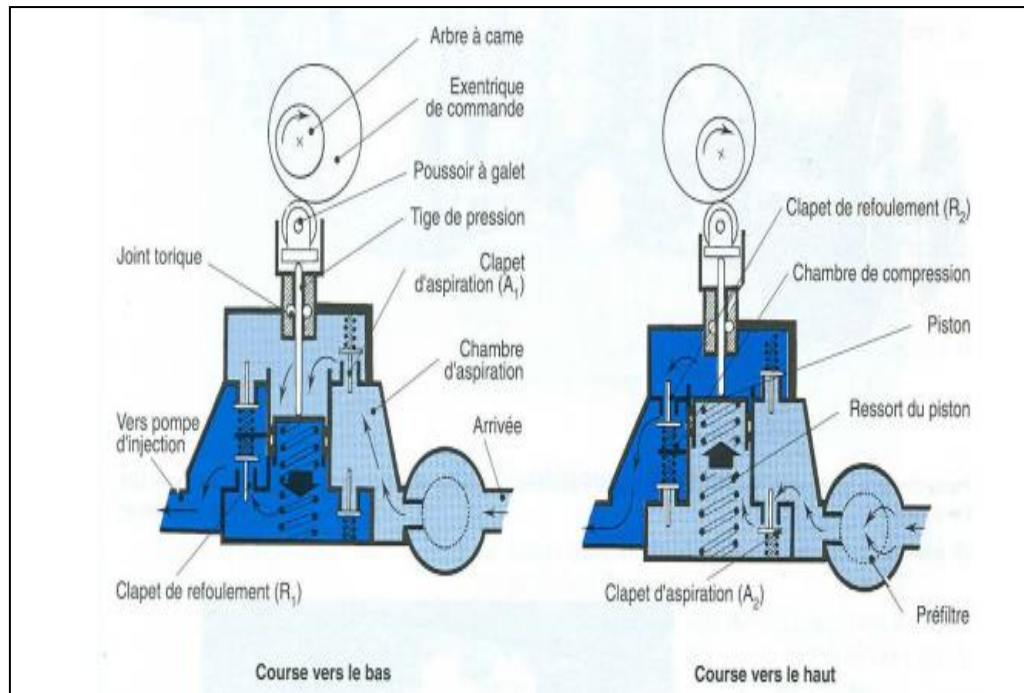


Figure III.8 : Pompe d'alimentation Bosch à double effet. [25]

III.6. Systèmes d'injection

III.6.1. Rôle

La pompe d'injection doit refouler sous pression vers chaque injecteur un volume précis de combustible, à l'instant prévu, et pendant une durée déterminée, à travers un circuit hydraulique comprenant soupape de refoulement, raccord et conduite haute pression.

III.6.2. Condition à remplir

- Le dosage doit correspondre très exactement aux besoins du moteur (suivant la charge) .
- Il doit être rigoureusement égal pour chaque cylindre du moteur .
- L'injection doit s'effectuer à un instant très précis .
- L'injection doit se produire pendant un laps de temps très court et sans égouttement ultérieur.
- La précision dans l'usinage de la pompe, notamment des pistons et des cylindres, doit être très poussée :
 - la pression instantanée atteinte une valeur très élevée : 1000 bars.
 - la quantité de combustible à refouler par coup de piston est très variable suivant les types de moteurs. [25]

III.6.3. Pompe d'injection Bosch taille "A" (Figure III.9)

III.6.3.1. Généralités

Ce type de pompe est commandé par l'arbre à cames et par l'intermédiaire des poussoirs à galets, les pistons ou éléments de pompage possèdent une course de levée constante. Cette course est en fonction de la taille de la pompe.

Les pistons sont ramenés vers le PMB par des ressorts dont le tarage est fonction de la vitesse maximale de la pompe, qui tourne à la demi-vitesse du moteur.

Le dosage du combustible est assuré par le déplacement en "rotation" des pistons, à l'aide de douilles, reliées à des secteurs dentés réglables en liaison avec la tige de réglage, appelée aussi "crémaillère".[25]

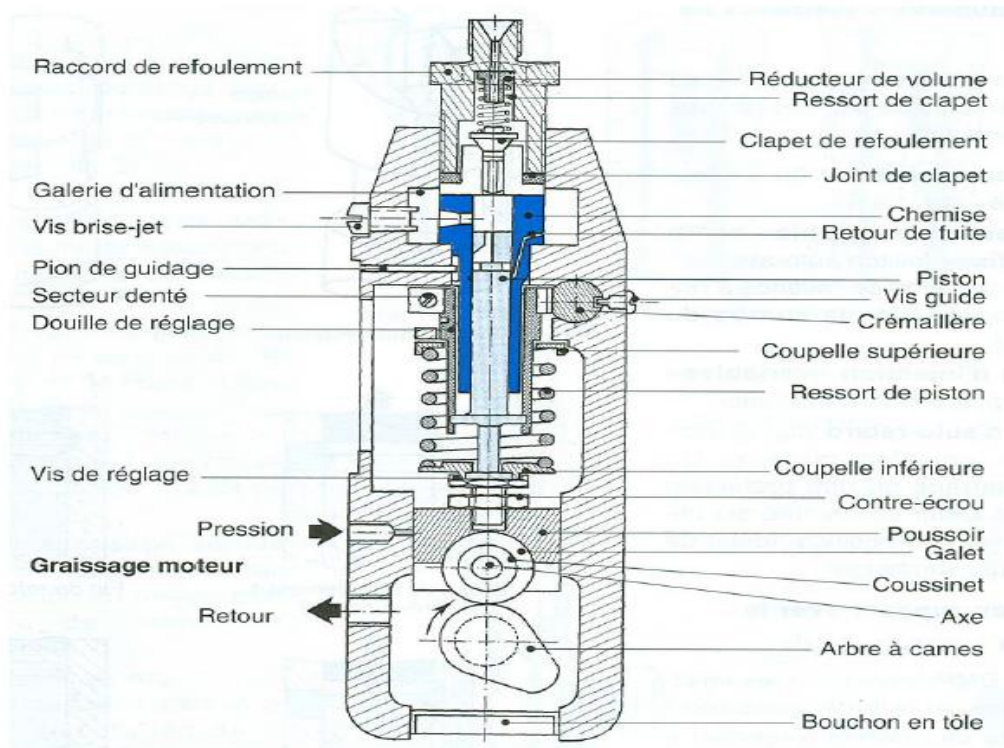


Figure III.9 : Pompe Bosch taille A avec graissage moteur. [25]

III.6.3.2. Éléments de pompage (pistons) (Figure III.10)

▪ Fonctionnement

a. Admission du combustible (remplissage)

Au PMB, le piston découvre l'orifice 0 et 01 d'arrivée du combustible. Celui-ci pénètre dans la chambre V et par la rainure verticale, dans la chambre X, poussé par la pression d'alimentation.

b. Pré-course

C'est la course parcourue par le piston entre le PMB et le début de refoulement.

c. Début de refoulement

Le piston ayant effectué la pré-course, obture les orifices d'arrivée 0 et 01. C'est le début de refoulement et le combustible comprimé soulève le clapet de refoulement, parcourant ainsi la course de détente.

d. Course utile

C'est la course comprise entre l'ouverture de la soupape de refoulement et la fin de refoulement (libération de l'orifice de décharge par la partie inférieure de la rampe du piston).

e. Fin de refoulement (décharge)

Dès que l'arête inférieure de la rampe hélicoïdale découvre l'orifice 01, la pression chute brusquement et le clapet de refoulement retombe sur son siège. Le combustible dans les chambres V et X est remis à la pression d'alimentation.

Le piston continue ensuite sa course jusqu'au PMH (course de la came). [25]

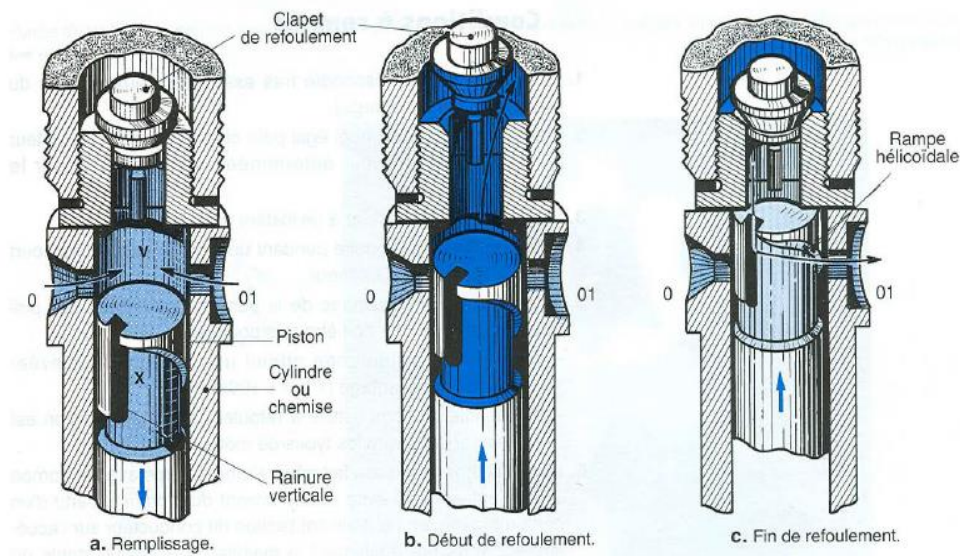


Figure III.10 : Pompe d'injection Bosch taille A. [25]

✓ **Différentes positions du piston**

La quantité de combustible refoulée dépend du temps pendant lequel le piston couvre l'orifice de décharge 01, c'est la course utile.

Ce temps est modifié par la rotation du piston. Elle fait varier l'instant de la fin du refoulement déterminé par la rampe hélicoïdale.

Les figures III.12.a, b, c montrent les positions de plein débit, de débit moyen et de ralenti. Dans la figure III.12.d, la rainure verticale est en ligne avec l'orifice 01, aucun refoulement n'est possible, c'est la position d'arrêt ou stop.

Pour obtenir la position désirée de la rampe hélicoïdale, on fait tourner le piston au moyen d'un mécanisme de commande. [25]

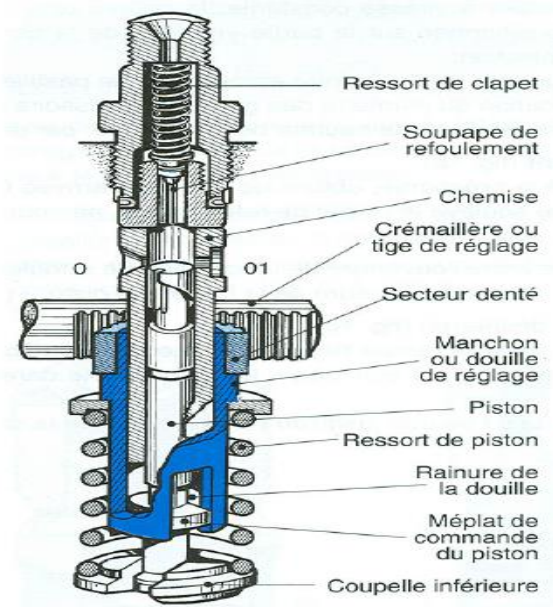


Figure III.11 : Mécanisme de commande de rotation du piston. [25]

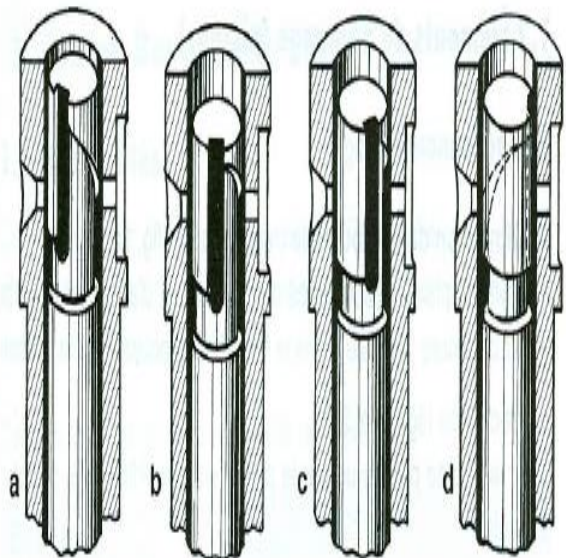


Figure III.12 : Positions de piston dans le cylindre. [25]

III.6.3.3. Soupape de refoulement

Leur rôle est de détendre rapidement, après chaque injection, la pression dans les tuyauteries HP, afin d'obtenir une fermeture franche de l'injecteur, tout en maintenant une pression résiduelle déterminée.

a. Soupape à respiration

✓ Début de refoulement :

Le piston de pompe comprime le combustible, la pression d'injection P devient supérieure à la pression P' (charge du ressort + pression résiduelle) et soulève la soupape. Le combustible s'écoule au moment où le piston de détente dégage l'orifice. (Figure III.13)

✓ Fin de refoulement :

Le refoulement du combustible cesse lorsque la pression P devient inférieure à la pression P' . La fermeture de la soupape s'effectue alors en deux phases :

- l'arête inférieure du piston de détente vient en contact avec la partie rectifiée du siège et la communication est interrompue.
- la soupape continue sa retombée jusqu'à la fermeture complète en respirant dans la tuyauterie un volume.[25]

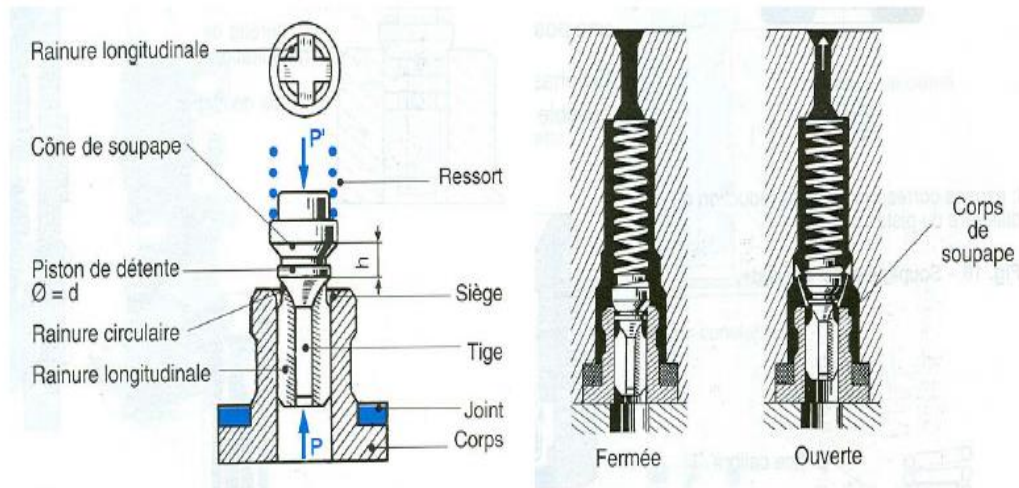


Figure III.13 : Soupape à respiration Bosch.[25]

b. Clapets à billes

Ils sont constitués de deux corps superposés comportant chacun une bille (Figure III.14). En fin d'injection, la bille du corps inférieur retombe la première sur son siège et il en résulte une chute de pression dans le corps supérieur. Le combustible contenu dans la tuyauterie de refoulement se détend et entraîne la fermeture de la seconde bille.

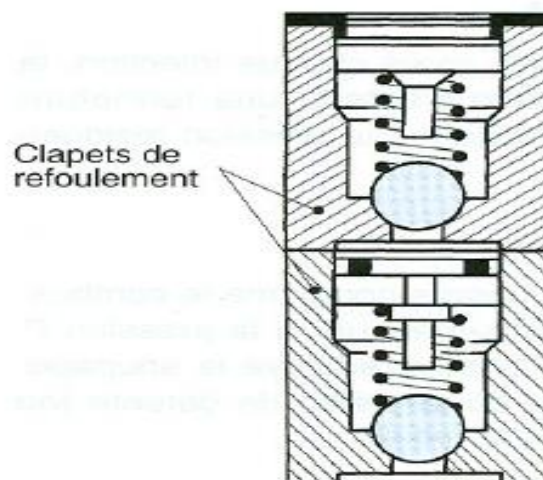


Figure III.14 : Clapets à billes. [25]

III.7. Injecteurs et porte-injecteurs

III.7.1. Rôle et fonctionnement de l'injecteur

L'injecteur ou pulvérisateur est fixé et positionné dans un support dénommé porte injecteur.

C'est un organe de haute précision qui assure la pulvérisation correcte et la répartition du combustible refoulé par la pompe d'injection, dans la chambre (ou la préchambre selon le cas) de combustion du moteur.

✓ Fonctionnement :

L'aiguille est appliquée, au repos sur son siège S, par un ressort qui prend l'appui dans le porte-injecteur (Figure III.15).

Le gazole arrive par le porte-injecteur dans une gorge circulaire "g" puis est dirigé vers la chambre de pression "V", par le canal "t".

Au moment du refoulement de combustible par la pompe d'injection, une montée en pression très rapide s'effectue dans la chambre de pression V, jusqu'à l'instant où l'aiguille se soulève (c'est le début d'injection), exercent alors une force plus importante que la pré-charge du ressort de pression "R".

Le combustible est pulvérisé finement, jusqu'à la fin du refoulement de la pompe d'injection, l'aiguille d'injecteur retombe alors sur son siège, plaquée par la force du ressort de pression "R" et obture le ou les orifices de la buse d'injecteur (étanchéité parfaite indispensable). [25]

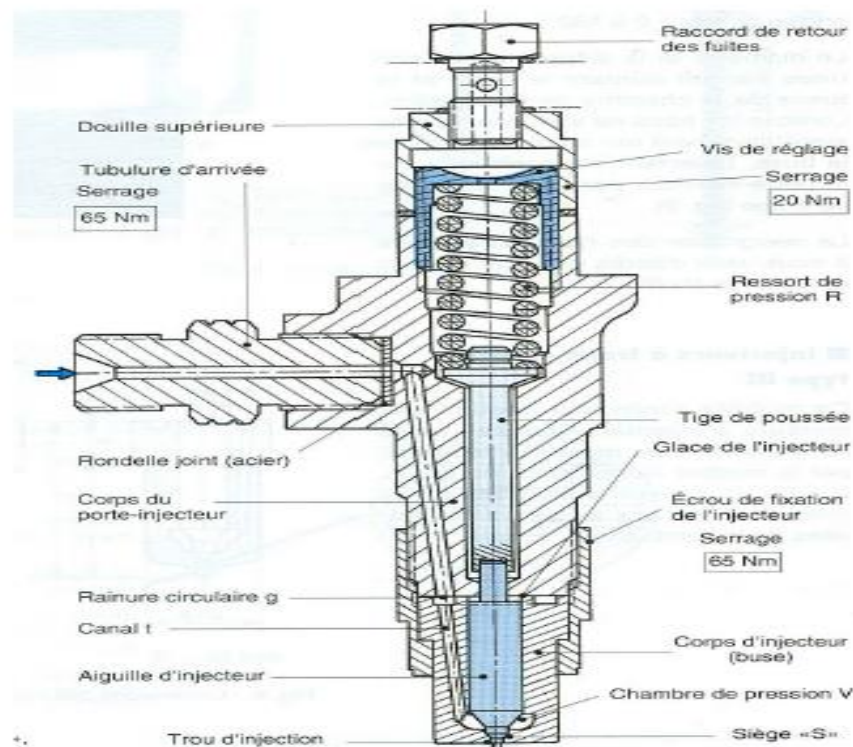


Figure III.15 : Porte-injecteur Lucas-Diesel avec injecteur à téton type DN. [25]

III.7.2. Différents types d'injecteurs

III.7.2.1. Injecteurs à trous

Ce type d'injecteur est utilisé en général sur les moteurs à injection directe car son rôle est essentiellement de répartir le combustible.

L'extrémité de la buse est percée d'un trou central ou de plusieurs trous capillaires dont le diamètre minimal est de 0.2 mm (nombre de trous = 1 à 12, angles de jets = 0 à 180°).

a. Injecteurs à trous court type DL

Ce modèle d'injecteur destiné aux moteurs à injection directe a été remplacé sur les moteurs modernes par le modèle long (DLL), moins encombrant et moins exposé aux températures élevées de la combustion.[25]

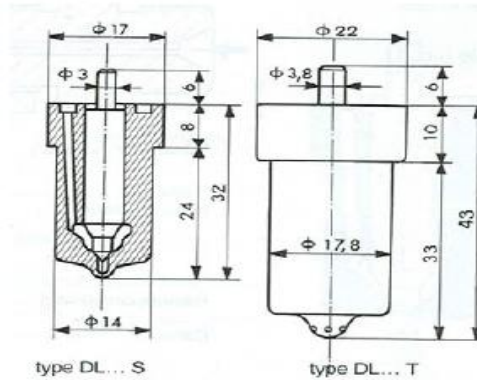


Figure III.16 : Injecteur Bosch type DL. [25]

b. Injecteurs à aiguille allongée

Ces injecteurs sont les plus utilisés sur les moteurs à injection directe et le gain de place est important (par exemple lors du montage de l'injecteur entre les soupapes).

Dans certains cas, on cherche à diminuer la surface offerte à l'action des gaz brûlants, afin de réduire l'échauffement de l'injecteur, on monte alors un fourreau "protecteur de chaleur".[25]

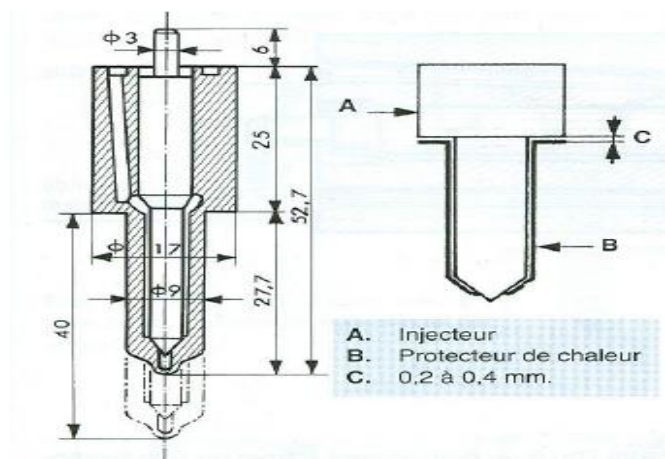


Figure III.17 : Injecteur à trous Bosch type DLL avec protecteur de chaleur. [25]

III.7.2.2. Injecteurs à tétons

Ils sont utilisés sur les moteurs à turbulence, car la préparation du mélange combustible est assurée principalement par le tourbillonnement de l'air et facilitée par la forme étudiée du jet d'injection.

La buse est percée d'un trou central de diamètre relativement important $d = 0.8$ à 3 mm et l'aiguille présente un téton de diamètre légèrement inférieur.

Avec ce dispositif, on obtient un jet conique dont l'angle de dispersion α dépend de la forme du téton de l'aiguille. En outre, le téton empêche tout dépôt de calamine sur le trou d'injection.

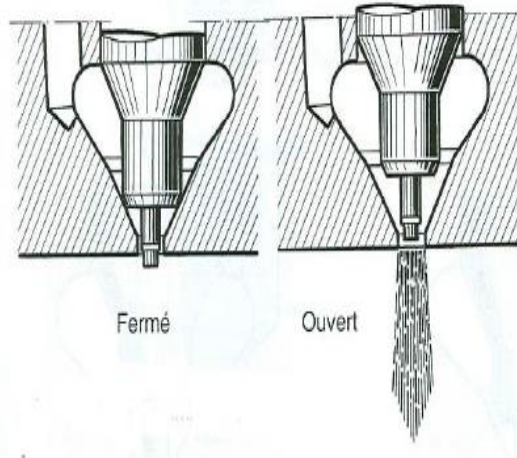


Figure III.18 : Injecteurs à téton à extrémité
Cylindrique. [25]

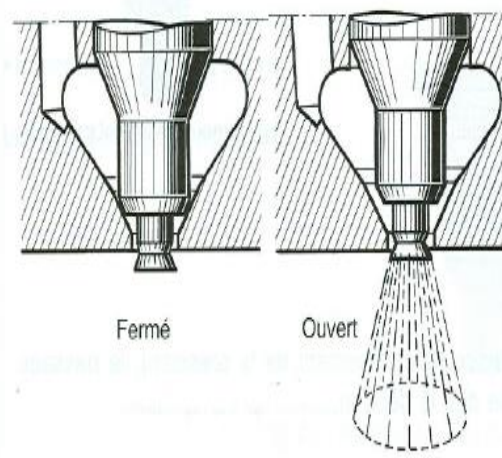


Figure III.19 : Injecteurs à téton à extrémité
Conique. [25]

III.7.2.3. Injecteurs à étranglement

Dans ce type d'injecteur, la forme particulière du téton de l'aiguille et un ressort spécial dans le porte-injecteur permettent d'obtenir une "pré-injection".

Au moment de l'ouverture, l'aiguille découvre en premier lieu un étroit passage annulaire qui laisse pénétrer très peu de combustible (effet de l'étranglement).

Au fur et à mesure que le mouvement d'ouverture progresse (accroissement de la pression), le passage s'élargit et ce n'est que vers la fin de la course de l'aiguille que le débit maximal de combustible est injecté.

C'est actuellement le type le plus employé sur les moteurs rapides de faible cylindrée, à injection indirecte. [25]

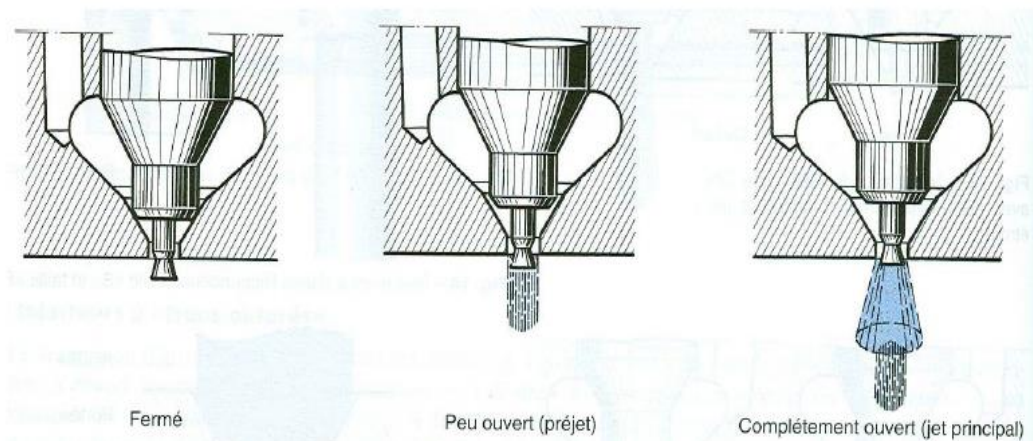


Figure III.20 : Injecteurs à étranglement type DN Bosch à téton conique. [25]

III.7.2.4. Injecteurs à trous pilote

C'est un injecteur à téton à grand recouvrement "R", dont la buse est percée d'un trou capillaire oblique "P" qui débouche sous le siège de l'aiguille "S".

Il est utilisé sur des culasses à préchambres. [25]

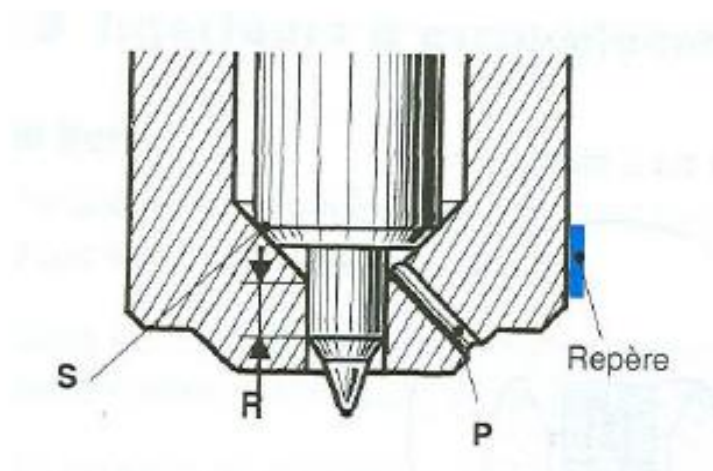


Figure III.21 : Injecteur à trou pilote. [25]

✓ Fonctionnement :

Aux faibles régimes du moteur et surtout à la vitesse d'entraînement du démarreur, l'injecteur se lève lentement et d'une valeur souvent inférieure à sa levée maximale : la plus grande partie du débit a le temps d'être évacuée par le trou pilote, le téton étant encore étanche sur son recouvrement.

L'injecteur fonctionne comme un injecteur à trou. Cet injecteur comporte un trait repère qui doit être positionné face au raccord d'arrivée sur le porte-injecteur.

III.8. Injecteurs-pompes et systèmes électroniques

III.8.1. Injecteurs-pompes

III.8.1.1. Injecteurs-pompes mécaniques

Ces injecteurs sont connus et utilisés depuis bien longtemps par certains constructeurs américains (GM Détroit Diesel, Caterpillar). Ce type d'injection, commandé par l'arbre à cames du moteur demande donc une adaptation particulière des culasses, mais comporte un argument important : la pression d'injection peut s'élever au-dessus de 1200 bars.

1. Vis de réglage 2. Culbuteur 3. Bride de fixation 4. Tige de poussée 5. Crémaillère
6. Élément de refoulement 7. Pousoir à galet 8. Arbre à cames 9. Injecteur

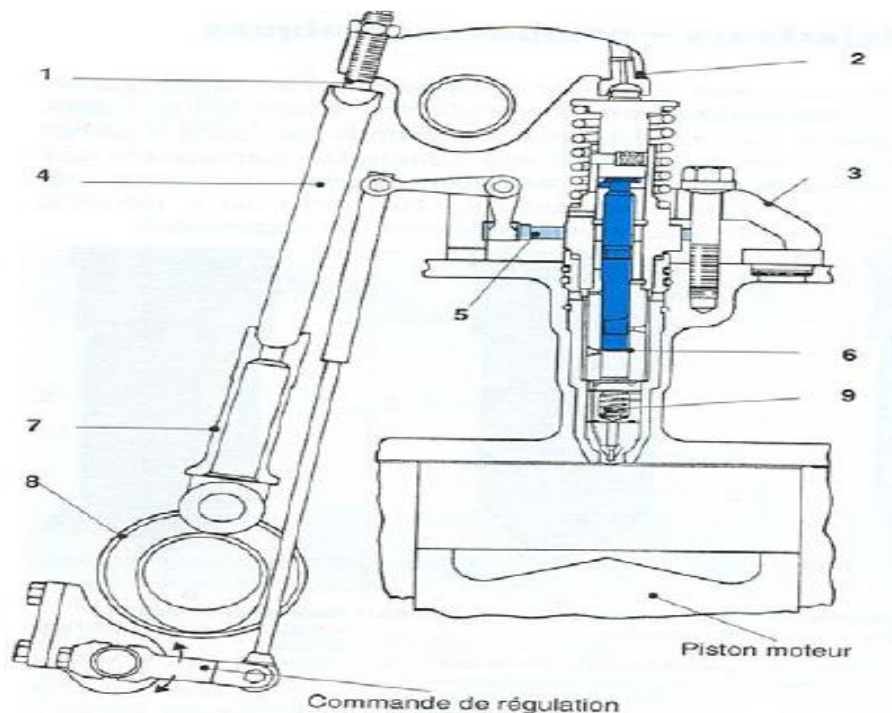


Figure III.22 : Système d'injecteur-pompe 3500 Caterpillar. [25]

III.8.1.2. Injecteurs-pompes à commande électronique

La recherche de puissance, liée aux impératifs de dépollution des moteurs diesel nouveaux, demande des pressions d'injection de plus en plus élevées et favorise le développement de ce produit, avec bien entendu non plus un dosage à commande mécanique, mais en pilotant une électrovanne à l'aide d'un système électronique (début, fin, durée, moment d'injection variables à commande unitaire). [25]

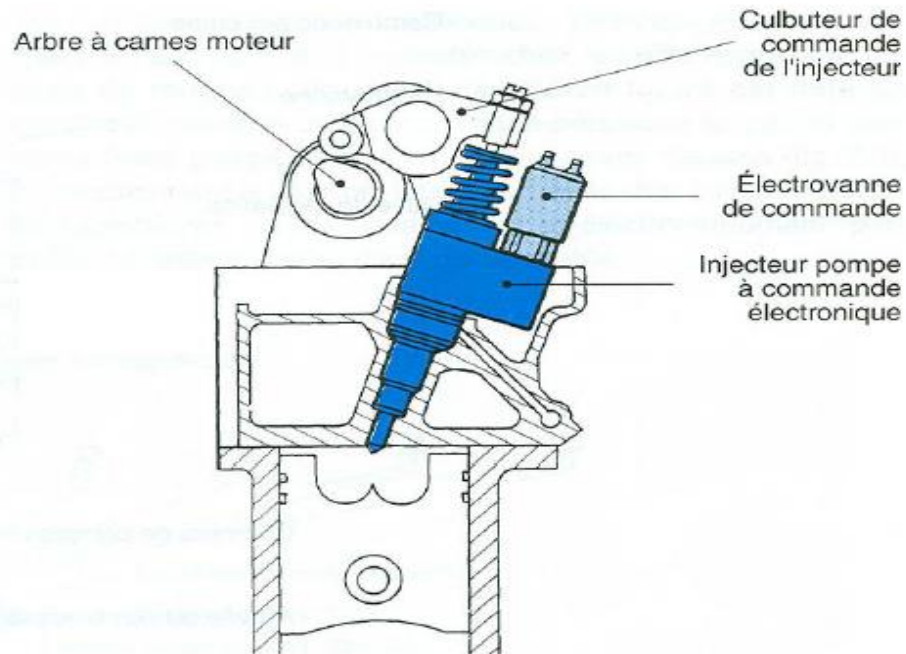


Figure III.23 : Système d'injecteur-pompe à commande électronique. [25]

III.8.2. Nouveaux systèmes d'injection Diesel

Les systèmes d'injection traditionnels, assistés désormais par l'électronique, sont bien implantés chez les différents constructeurs de moteurs.

Pourtant, l'évolution future est déjà en marche et quelques systèmes "haute pression" tout à fait nouveaux (sans pompe d'injection) sont en cours d'essais, fonctionnant à plus de 1000 bars, avec des injecteurs électromagnétiques pilotés unitairement et électroniquement, permettant d'obtenir une loi d'injection variable. [25]

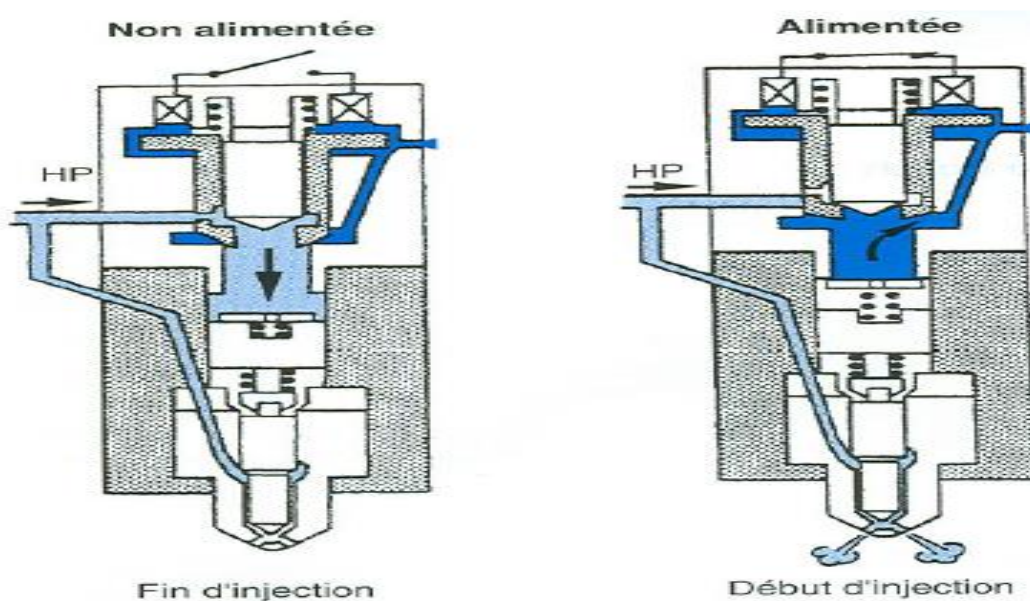


Figure III.24 : Fonctionnement d'un injecteur électromagnétique. [25]

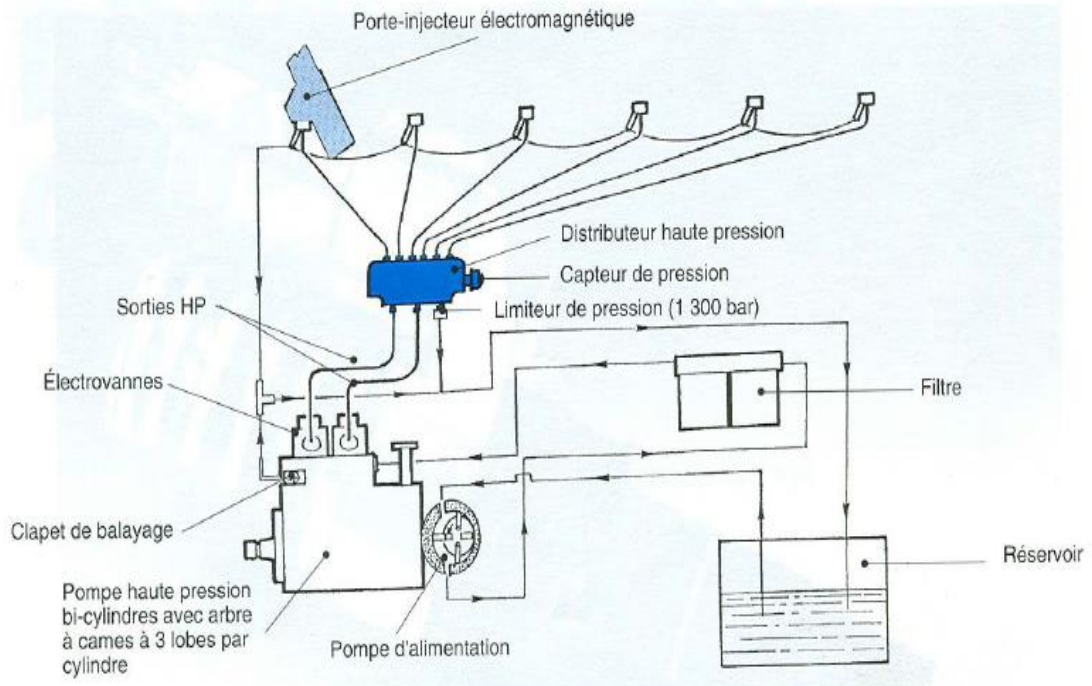


Figure III.25 : Système haute pression Nippondenso.[25]

III.9. Les avantages du Moteur Diesel

- Le rendement thermique est plus élevé car le taux de compression est plus élevé. Une plus grande proportion de chaleur est convertie en travail. Le rendement thermique varie de 0,35 à 0,38 en version atmosphérique, et vaut 0,40 en version suralimentée.
- La consommation spécifique est de 200g /kW/h en moyenne au lieu de 330g /kW/h en essence.
- Le couple moteur est plus important et sensiblement constant aux bas régimes. (Principe de combustion, bon remplissage des cylindres).
- Le combustible est moins cher.
- Les risques d'incendie sont moindres car le point d'inflammation du gazole est plus élevé que celui de l'essence.
- Les gaz d'échappement sont moins toxiques car la combustion est plus complète
- Durée de vie du moteur plus longue. (moins de CO et HC quasiment nuls).
- Durée de vie du moteur plus longue.

III.10. Les inconvénients du Moteur Diesel

- Le moteur doit être plus solide, avec des organes plus largement dimensionnés.
- L'étanchéité entre le cylindre et le piston est plus difficile à réaliser.
- Le démarrage à froid est délicat.

- Le refroidissement est plus élaboré pour la tenue des métaux.
- Le graissage est plus délicat (hautes températures et charges plus élevées des organes mobiles).
- Le prix du moteur est élevé (pompe d'injection et injecteurs sont des organes de précision).
- Les problèmes de viscosité du carburant aux basses températures.
- Le moteur est plus bruyant.
- L'odeur. [26]

III.11. Conclusion

Ce chapitre nous a montré une vue sur le principe de fonctionnement de moteur Diesel à injection directe, la structure, les éléments principaux ; les différents capteurs et actionneurs, avec indication des différentes caractéristiques. Enfin on peut dire que le moteur Diesel à injection directe, alimenté par un système d'injection haute pression à gestion électronique, est recommandé parce qu'il offre un rendement supérieur à tous les autres moteurs thermiques, avec une diminution de la consommation et une réduction des émissions polluantes. [21]

Chapitre IV : Impact Environnemental

IV.1. Introduction

Le réchauffement de la planète est une réalité. Les pôles fondent depuis quelques années, et les scientifiques nous indiquent la sécheresse, augmentation du niveau des océans, les gaz à effet de serre etc. Le plus important d'entre eux est certainement le gaz carbonique CO (ou CO₂), libéré dans l'atmosphère à l'occasion de la combustion et de l'utilisation des sources d'énergies fossiles, non renouvelables, telles que le pétrole, le gaz naturel ou encore le charbon. Une consommation d'énergie dont nous sommes tous responsables, et sur laquelle nous pouvons donc agir.

Les plus gros utilisateurs de ressources sont l'industrie et le transport. Bien entendu, l'automobile est une réalité obligatoire dans nos sociétés, mais il n'est plus possible de continuer à laisser le transport routier rejette plus de 7 millions de tonnes de CO₂ chaque année.

C'est la raison pour laquelle les constructeurs, citoyens et autorités doivent désormais participer, chacun à leur niveau, à la lutte pour la réduction de la production de gaz à effet de serre et du même coup à la réduction des autres nuisances liées à l'automobile, comme le bruit et les problématiques liées à la mobilité.

D'un autre côté, l'industrie de l'automobile est une grande productrice de déchets chaque année

Par rapport à un sujet aussi sensible et aussi personnel que celui de la relation de l'individu avec sa voiture, ce guide tend à présenter, aussi simplement que possible et de manière dépassionnée, les dégâts et les risques que font peser la construction et l'usage de l'automobile sur l'environnement.

L'automobiliste y trouvera des pistes des choix d'achat et de comportement pour un meilleur respect de l'environnement dans l'utilisation ou la non-utilisation quotidienne de son véhicule. En tant que consommateur, il a un réel pouvoir. Ces pages voudraient ainsi donner les informations et les outils pour influencer tous les acteurs afin de réduire la pression sur l'environnement, les dommages qui lui sont causés, et promouvoir un cadre de vie meilleur pour l'être humain [27].

IV.2. Définition de la pollution

C'est l'ensemble des rejets de composés toxiques libérés par l'homme dans le milieu récepteur (continental, océanique et atmosphérique). Certaines substances libérées sont d'origine naturelle mais présentent un danger pour les organismes et perturbent l'équilibre général de l'environnement

IV.3. Origines des polluants et principaux éléments

Les trois causes principales de pollution sont :

- La production et la consommation des combustibles fossiles.
- Les activités dues aux diverses industries chimiques.
- Les activités agricoles (engrais et pesticide).

IV.4. Les principaux polluants

Sont indiqués dans le tableau suivant [28] :

Tableau IV.1 : Liste des polluants et leurs caractéristiques.

Symbole	Désignation	Description
SO ₂	Dioxyde de soufre	résulte de la combustion du charbon et des fuels
NO _x	Les n oxyde d'azote	gaz émis par les installations de combustion et les véhicules automobiles
CO	Le monoxyde de carbone	Produit essentiellement par les véhicules à moteur à explosion
CO ₂	Dioxyde de carbone	le produit naturel de toute combustion responsable en majeure partie de l'effet de serre. Le reste étant dû au méthane et aux chlorofluorocarbure
	Hydrocarbure	Résultat de la combustion incomplète des carburants dans les moteurs qui génère des vapeurs d'hydrocarbure. C'est aussi le fruit de l'utilisation de certains solvants

HCL	Acide chlorhydrique	Il est présent dans l'atmosphère quand il y a combustion des PVC ou PCV ⁹
Poussières	Particules	Solides ou en suspension dans l'air et constituent des polluants non gazeux
O ₃	Ozone	C'est un polluant secondaire, résultant de l'action du rayonnement solaire sur les divers polluants, augmentant par conséquent la présence d'ozone dans l'air jusqu'à l'atteinte de teneurs toxiques
CH ₄	Méthane	C'est le principal composé organique volatil responsable de l'accentuation de l'effet de serre
CFC	Chlorofluorocarbure	Polluants les plus impliqués dans la dégradation de la couche d'ozone.
	Pesticides	
	Métaux lourds	Plomb, Cadmium, Arsenic, Mercure
	Radioéléments	

IV.5. Monoxyde de carbone (CO)

Le monoxyde de carbone est un gaz toxique, inodore et incolore dont des traces sont naturellement présentes dans l'atmosphère. Le lecteur intéressé par les aspects législatifs de la pollution atmosphérique par le monoxyde de carbone devra compléter la lecture et la consultation des fiches documentaires de réglementation pour protéger la santé publique et l'environnement.

L'information sur la surveillance du CO (description des emplacements et des méthodes de mesure) ainsi que l'analyse des distributions de fréquences cumulées des données CO sont présentés dans les rapports techniques des Laboratoires de Recherche en Environnement.

IV.5.1. Effet sur l'environnement

Il n'existe pas de rapports indiquant que des concentrations de CO couramment mesurées dans l'air ambiant des zones urbaines et industrielles aient des effets nuisibles sur les plantes et microorganismes. Le monoxyde de carbone influence toute fois indirectement l'effet de serre car il influe sur le pouvoir d'oxydation de l'atmosphère terrestre. De ce fait, il contribue à augmenter les concentrations de méthane (CH₄) et d'oxydes nitreux (N₂O).

IV. 5.2. Effets sur la santé humaine

Le monoxyde de carbone se fixe de façon irréversible à la place de l'oxygène sur l'hémoglobine du sang, bloquant ainsi le transport de l'oxygène dans le corps humain. Le système nerveux central et les organes sensoriels sont les premiers affectés. Les intoxications

sont plus ou moins grandes en fonction de la durée d'exposition et de la quantité. Une faible exposition au CO peut entraîner des maux de tête et des nausées. A une exposition importante, il peut être à l'origine d'une intoxication provoquant des évanouissements, des troubles, laisser des conséquences neurologiques irréversibles et causer la mort lors d'exposition prolongée.

Des effets sont également observés suite à des expositions prolongées à des taux plus faibles. Chez les personnes en bonne santé on peut observer une diminution des capacités physiques et intellectuelles, une baisse de la perception visuelle, et une perte de motricité.

IV.5.3. Origine de monoxyde de carbone

Le monoxyde de carbone est produit par des processus naturels et par des activités humaines. A l'échelle mondiale, le brûlage des savanes herbeuses comme mode de gestion du bétail et des pâturages est peut-être la source la plus importante de monoxyde de carbone

Ce qui nous intéresse ici est que ce gaz résulte de la combustion incomplète (qui peut être due à une oxygénation insuffisante et/ou à une température de combustion trop faible) de combustibles contenant du carbone tels que le gaz, le charbon, le mazout, l'essence et le bois. Le CO est principalement émis par la circulation automobile (dont les émissions des moteurs froids ou mal réglés sont les plus importantes). Les émissions de CO proviennent également du mauvais réglage des chauffe-eau au gaz, qui sont responsables d'un certain nombre d'accidents domestiques. Pour éviter les effets néfastes de ce gaz à l'intérieur de l'habitat, une bonne aération est nécessaire ainsi qu'un entretien annuel des installations concernées. [29]

IV.6. Principales situations professionnelles entraînant des expositions aux gaz d'échappement

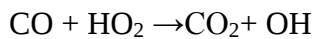
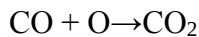
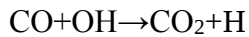
- Salariés travaillant dans des espaces confinés : utilisateurs d'engins à moteurs diesel pour la réalisation de travaux souterrains, conducteurs de chariots automoteurs diesel passant un temps notoire à l'intérieur d'entrepôts...
- Travailleurs chargés de l'entretien ou du contrôle technique des véhicules à moteur
- Conducteurs d'engins (chantiers, industrie extractive...), de tracteurs agricoles, de poids lourds ou même de véhicules légers
- Personnel travaillant à proximité de ces véhicules et engins (travail sur la voie publique, dans les cabines de péage ou les parkings)
- Utilisateurs de petits moteurs à essence (petits groupes électrogènes, disque uses, tronçonneuses...), exposés à des gaz d'échappement particulièrement riches en monoxyde de carbone

- Utilisateurs d'engins (chariots automoteurs...) équipés de moteurs à gaz dans des locaux mal ventilés. [29]

IV.7. Mécanismes de formation des polluants

IV.7.1. Dioxyde de carbone (CO₂)

Combustion complète de tout composé hydrocarboné conduit à la production de CO₂ (d'autant plus importante que le rapport C/H est élevé).



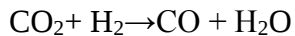
IV.7.2. Monoxyde de carbone (CO)

Combustion incomplète des composés carbonés :



Le paramètre essentiel gouvernant les émissions de CO reste la richesse du mélange considéré.

IV.7.2.1. Cas d'un mélange globalement ou localement riche (moteur à essence)



IV.7.2.2. Cas d'un mélange pauvre (moteur diesel):

L'émission de CO devrait être nulle (excès de O₂) mais en réalité CO = 1000 à 3000 ppm.

Paramètres influents : mélange non homogène, composés oxygénés dans le carburant, oxydation partielle des hydrocarbures imbrûlés dans la canalisation d'échappement.

La teneur en CO dépend de la teneur en carbone du carburant. Carburants oxygénés ⇒ réduction du taux d'émission de CO

IV.7.3. Hydrocarbures imbrûlés (HC) :

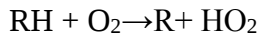
Composants du carburant lui-même, non transformés plus produits obtenus par diverses réactions.

A haute température : réactions conduisant à la formation d'hydrocarbures insaturés.

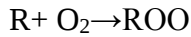
A basse température : réactions complexes composés oxygénés.

Remarque : dans le moteur Diesel l'émission d'HC est de 10 à 15 fois moins que dans le moteur à essence. Emissions d'HC augmentent avec la richesse en C.

1^{ère} étape : formation de radicaux alkyls R. par amorçage biomoléculaire et formation du radical hydro-péroxyde : HO₂



2^{ème} étape : addition sur le dioxygène et formation des peroxydes



Puis nombreuses réactions radicalaires qui sont combinées avec des réactions diverses de déshydrogénation. [29]

IV.8. Travail Expérimental

Pendant notre stage pratique au niveau de l'unité de contrôle technique SIDI MESTOUR on a pris des mesures des différents polluants à partir des gaz d'échappement des véhicules à essence et diesel.

IV.8.1. méthodes expérimentales

Les équipements utilisés pour prendre ces mesures :

Pour les moteurs à essence on a utilisé un analyseur de gaz de type vamag figure IV.1



Figure IV.1 : Analyseur et capteur de gaz dans le moteur à essence.

Pour les moteurs diesel on a utilisé un opacimètre de type vamag figure IV.2



Figure IV.2 : Opacimètre et capteur de gaz le moteur Diesel.

IV.8.2. Résultats

- **Résultats d'analyse moteurs à essence**

Les résultats (CO, CO₂, O₂ et HC) obtenus sont représentés sur le tableau 2.

Tableau IV.2 : Résultats d'analyse moteurs à essence.

Moteurs	année de mise en marche	CO (% Vol)	CO ₂ (% Vol)	O ₂ (% Vol)	HC (ppm Vol)
Moteur 1	2014	0.27	11.2	3.58	112
Moteur 2	2015	0.23	10.4	3.69	93
Moteur 3	2015	0.84	9.6	5.98	172
Moteur 4	2007	0.25	10.2	6.02	212
Moteur 5	2010	0.14	7.1	5.6	160
Moteur 6	2013	2.41	6.4	8.72	3010
Moteur 7	2013	1.2	9.5	4.08	324
Moteur 8	2010	0.17	8.5	9.16	291
Moteur 9	2015	0.84	10.4	5.18	241
Moteur 10	2016	0.05	7.8	8.38	74
Moteur 11	2010	0.16	9.2	7.08	113
Moteur 12	2015	0.16	9.8	6.85	97
Moteur 13	2013	0.14	8.8	8.6	82
Moteur 14	2013	0.93	1.23	2.64	119

- **Résultats d'analyse moteurs Diesel**

Les résultats (K1 : Opacité, densité de fumée dans l'environnement) obtenus sont représenté sur le tableau 3.

Tableau IV.3 : Résultats d'analyse moteurs diesel.

Moteurs	année de mise en marche	K1	Moteurs	année de mise en marche	K1
Moteur 1	2006	0.3	Moteur 12	2010	0.13
Moteur 2	2015	0.56	Moteur 13	2013	0.47
Moteur 3	2015	1.29	Moteur 14	2008	0.71
Moteur 4	2009	0.02	Moteur 15	2015	0.08
Moteur 5	2017	0.36	Moteur 16	2012	0.09
Moteur 6	2008	0.82	Moteur 17	2012	0.49
Moteur 7	2006	1.53	Moteur 18	2008	0.4
Moteur 8	2014	0.3	Moteur 19	2005	1.11
Moteur 9	2010	0.73	Moteur 20	2007	1.18
Moteur 10	2011	0.16	Moteur 21	2019	0.05
Moteur 11	2014	0.07	Moteur 22	2016	0.03

IV.8.3. Discussion des résultats

a. Moteur à essence

Pour mieux comprendre l'effet des gaz sur l'environnement on a fait une étude statistique.

Pour cela on a devisé les résultats en trois classes statistiques selon l'année de mise en marche du moteur (tableaux 4, 5 et 6).

- **Classe 1 : 2007→ 2010**

Tableau IV.4 : Résultats d'analyse moteurs à essence de 2007 à 2010.

Moteurs	année de mise en marche	CO (% Vol)	CO ₂ (% Vol)	O ₂ (% Vol)	HC (ppm Vol)
Moteur 1	2007	0.25	10.2	6.02	212
Moteur 2	2010	0.14	7.1	5.6	160
Moteur 3	2010	0.17	8.5	9.16	291
Moteur 4	2010	0.16	9.2	7.08	113

- **Classe 2: 2011 → 2014**

Tableau IV.5 : Résultats d'analyse moteurs à essence de 2011 à 2014.

Moteurs	année de mise en marche	CO (%Vol)	CO ₂ (%Vol)	O ₂ (%Vol)	HC (ppm Vol)
Moteur 1	2013	0.14	8.8	8.6	82
Moteur 2	2013	0.93	1.23	2.64	119
Moteur 3	2013	2.41	6.4	8.72	3010
Moteur 4	2013	1.2	9.5	4.08	324
Moteur 5	2014	0.27	11.2	3.58	112

- **Classe 3 : 2015 → 2018**

Tableau IV.6 : Résultats d'analyse moteurs à essence de 2015 à 2018.

Moteurs	année de mise en marche	CO (%Vol)	CO ₂ (%Vol)	O ₂ (%Vol)	HC (ppm Vol)
Moteur 1	2015	0.23	10.4	3.69	93
Moteur 2	2015	0.84	9.6	5.98	172
Moteur 3	2015	0.16	9.8	6.85	97
Moteur 4	2015	0.84	10.4	5.18	241
Moteur 5	2016	0.05	7.8	8.38	74

b. moteur diesel

On a devisé les résultats en trois classes selon l'année de mise en marche des moteurs (tableaux 7,8, et 9).

- **Classe 1: 2005 → 2009**

Tableau IV.7 : Résultats d'analyse moteurs diesel de 2005 à 2009.

Moteurs	Moteur 1	Moteur 2	Moteur 3	Moteur 4	Moteur 5	Moteur 6	Moteur 7	Moteur 8
année de mise en marche	2005	2006	2006	2007	2008	2008	2008	2009
K ₁	1.11	0.3	1.53	1.18	0.4	0.71	0.82	0.02

- **Classe 2 : 2010 → 2014**

Tableau IV.8 : Résultats d'analyse moteurs diesel de 2010 à 2014.

Moteurs	Moteur 1	Moteur 2	Moteur 3	Moteur 4	Moteur 5	Moteur 6	Moteur 7	Moteur 8
année de mise en marche	2010	2010	2011	2012	2012	2013	2014	2014
K₁	0.13	0.73	0.16	0.09	0.49	0.47	0.07	0.3

- **Classe 3 : 2015 → 2019**

Tableau IV.9 : Résultats d'analyse moteurs diesel de 2015 à 2019.

Moteurs	Moteur 1	Moteur 2	Moteur 3	Moteur 4	Moteur 5	Moteur 6
année de mise en marche	2015	2015	2015	2016	2017	2019
K₁	0.56	1.29	0.08	0.03	0.36	0.05

Tableaux récapitulatifs

Dans ces tableaux on a calculé la moyenne arithmétique de chaque polluant pour chaque classe des moteurs à essence et des moteurs diesel

✓ Moteur à essence

	CO (%Vol)	CO₂ (%Vol)	O₂ (%Vol)	HC (ppm Vol)
Classe 1	0.18	8.75	6.965	194
Classe 2	0.99	7.426	6.905	729.4
Classe 3	0.424	9.6	6.016	135.4

✓ Moteur diesel

	Classe 1	Classe 2	Classe 3
K ₁	0.759	0.305	0.395

A partir de ces tableaux récapitulatifs on présente les résultats sous forme de graphes :

Pour les moteurs à essence on remarque que le taux de CO (Figure IV.3) est de 0.18% pour la classe 1, celui de la classe 2 est de 0.99% et celui de la classe 3 est de 0.424%, sachant que la valeur admissible de CO est de 0.25% maximum. Pour la classe 1 le taux de CO est accepté car il est inférieur à 0.25% cela peut être expliqué par maintenance corrective des moteurs

anciens. Le taux de CO est plus élevé dans la classe 2 et la classe 3 par rapport aux taux admissibles 0.25% cela peut être expliqué par le taux d'usure plus élevée dans les moteurs de la classe 2 par rapport à la classe 3 ce qui entraîne un mauvais fonctionnement.

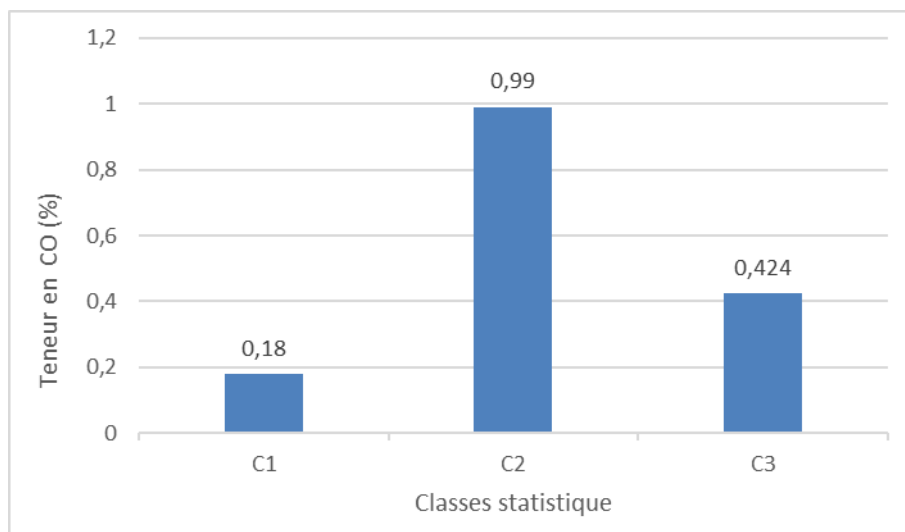


Figure IV.3 : Teneur en CO dans les moteurs à essence.

Pour les moteurs à essence on remarque que le taux de CO_2 est de 8.75% pour la classe 1, celui de la classe 2 est de 7.426% et celui de la classe 3 est de 9.6%. Pour CO_2 est considéré comme un gaz qui a une influence n'est pas importante comme le CO sur l'environnement son taux admissible n'est pas désigné (Figure IV.4)



Figure IV.4 : Teneur en CO_2 dans les moteurs à essence.

Pour les moteurs à essence on remarque que le taux de O_2 est de 6.965% pour la classe 1, celui de la classe 2 est de 6.905% et celui de la classe 3 est de 6.016%. Pour O_2 est considéré comme un gaz qui n'est pas polluant comme le CO sur l'environnement. (Figure IV.5).

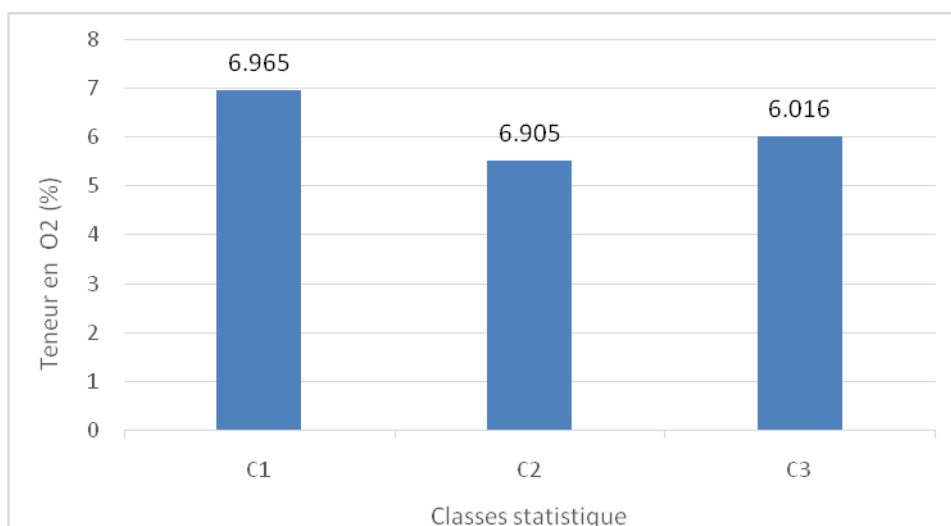


Figure IV.5 : Teneur en O₂ dans les moteurs à essence.

Pour les moteurs à essence on remarque que le taux de HC est de 194% pour la classe 1, celui de la classe 2 est de 729.4% et celui de la classe 3 est de 135.4%. Même chose Pour HC le taux est élevé car il est favorisé par la consommation d'huile par le moteur dû à l'usure et à la combustion incomplète (Figure IV.6).

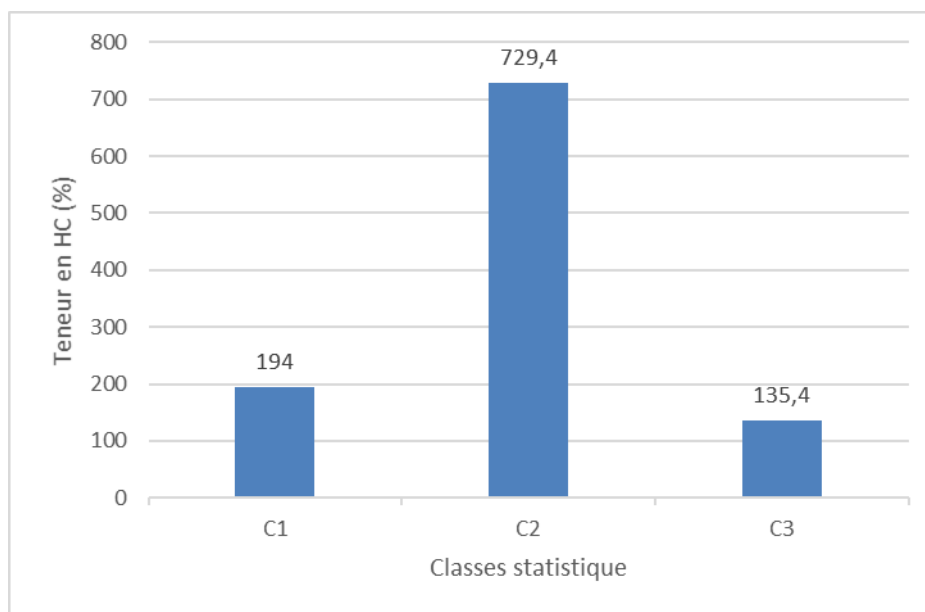


Figure IV.6 : Teneur en HC dans les moteurs à essence.

Pour les moteurs diesel on remarque que l'opacité K_1 est de 0.759 pour la classe 1, celle de la classe 2 est de 0.305 et celle de la classe 3 est de 0.395, sachant que la valeur admissible de K_1 est de 3.5 maximum. Pour les moteurs diesel on remarque que l'opacité est plus élevée

dans la classe 1 à cause de l'ancienneté des moteurs par rapport à la classe 2 et 3. Puisque le taux admissible est $K_1=3.5$ les valeurs des trois classes sont donc admissibles (Figure IV.7).

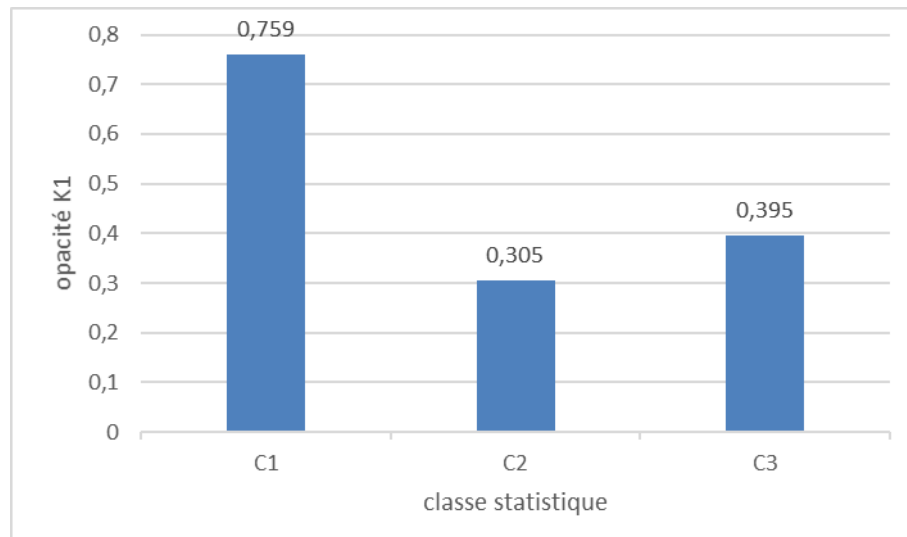


Figure IV.7 : L'opacité K_1 dans les moteurs Diesel.

IV.9.Conclusion

En fin de ce chapitre on a conclu que les gaz d'échappement des véhicules ont un grand effet sur la pollution de l'environnement notamment sur l'effet de serre et la santé humaine.

On a remarqué d'après notre étude expérimentale, que pour diminuer des taux élevés des gaz d'échappement surtout le CO (moteur essence), il faut faire une maintenance préventive pour les nouveaux moteurs et une maintenance corrective des anciens moteurs, et cela pour avoir des valeurs ne dépassent pas les teneurs admissibles (0.25%) pour le CO dans les moteurs à essence et (3.5) pour K_1 dans les moteurs diesel ce qui augmente la combustion complète.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Les premiers moteurs à explosion sont imposés dans le monde automobile grâce notamment au carburant. La facilité d'utilisation et de maintenance de ce type de moteur explique également son succès.

Le moteur à essence est relativement plus silencieux qu'un moteur diesel. Dans un moteur diesel l'explosion du mélange air-carburant (gazole), par auto-inflammation, provoque une onde de choc importante dont le bruit ressemble à une sorte de claquement.

Généralement, 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. Le démarrage à froid est meilleur pour un moteur à explosion essence.

Il est aussi plus facile d'obtenir une puissance plus importante dans un moteur à essence en raison d'un régime moteur maximal environ une fois et demie supérieur à celui des moteurs Diesel.

Une voiture essence neuve est moins chère à l'achat qu'une voiture diesel neuve (environ 10%) et rejette moins d'oxydes d'azote (NO_x) qu'un moteur diesel.

La combustion entraîne le rejet de gaz potentiellement polluants (CO_2 , HC, CO, NO_2 ...). Ils sont malgré des aménagements spécifiques, désignés comme principales sources de pollution des villes. En effet, le rejet des gaz polluants des moteurs sont une des causes de la pollution atmosphérique (composée principalement de CO, CO_2 et NO_2) de plusieurs grandes villes. Près de 25% de cette pollution atmosphérique est due aux automobiles (au total 30% est due aux transports et 50% à l'industrie). Cependant, dans quelques années, le rejet de CO_2 des automobiles devrait dépasser en quantité celui des industries et passer ainsi en première place au niveau de l'émission de CO_2 dans l'atmosphère. Les moteurs automobiles sont donc parmi les principaux responsables aujourd'hui de l'accumulation des gaz à effet de serre.

D'après notre résultat on a constaté que le dégagement de CO à dépasser la teneur admissible pour certains moteurs à essence par contre l'opacité dans les moteurs diesel la teneurs n'a pas dépasser la valeur admissible.

Bibliographie

- [1] A. Amina, Yasser, Simulation numérique de combustion dans un moteur Diesel turbocompressée, Université Abou-Berk Belkaid –Tlemcen, 2012/2013
- [2] B. Abderrahmane, B. Mohammed Elhad, K. Abdesselame, Étude et maintenance du moteur CAT 3512, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2016-2017.
- [3] Olivier P, Cours de thermodynamique , I.U.T. de Saint-Omer Dunkerque,2010-2011
- [4] M.Abderrezak, mémoire de doctorat en sciences en génie mécanique construction(Contribution a l'étude des échanges thermiques dans un moteur diesel atmosphérique a taux de compression variable), Université Mentouri Constantine.
- [5] Orville L. Adams, Traité élémentaire du moteur Diesel, Traduit par Ch.Schimpf, Editeur Dunod, 1960 .
- [6] D. Jolivet, Le moteur Diesel, Editeurs Chotard Et Associés, 1986
- [7] M. Abderrezak, contribution a l'étude des échanges Thermiques dans un moteur diesel Atmosphérique a taux de compression variable, université Mentouri Constantine.
- [8] www.bricoloverteu, principe de fonctionnement du moteur à essence à 4 temps.
- [9] G. Ciccarelli. “Applied Combustion ». Notes de cours. Queens Université.
- [10] RACHID MAAMRI, Modélisation et expérimentation des moteurs à combustion fonctionnant avec différents carburants de substitution et mélanges, Université du Québec, Novembre 2014
- [11] www.slideshare.net, Principe de fonctionnement du moteur 4 temps.
- [12] www.l'argus.fr, moteur à essence.
- [13] S.BARBE, H.BEN ABDEL JAOUED, M.Arieff HAMZAH, G. LI, M.OFIALA, M.DIOUARA, E.RICHET, Modélisation de la combustion d'un moteur à essence, Université du Maine, 2010/2011.
- [14] Abdelhakim ATHAMNIA, Détermination du couple moteur Diesel 2.2 dci monté sur les véhicules de marque RENAULT, Université de Biskra, Juin 2017.
- [15] www.l'atelier paysan.org, Principe de fonctionnement du moteur à essence à 4 temps.
- [16] [http : // ar.scribd.com/ document/242954204/moteur ressource](http://ar.scribd.com/document/242954204/moteur%20ressource), Le moteur thermique
- [17] www.joho.p.free.fr, construction, Système d'alimentation.
- [18] www.laberezina.com, filtre à air à bain d'huile.

- [19] www.la4lde.sylvie.fr, pompe à membrane.
- [20] www.Mecaretro.free.fr, circuit de ralenti.
- [21] L. Fayçal, Détection des défauts dans le système de combustion d'un moteur Diesel, université Badji Mokhtar Annaba, 2007.
- [22] www.auto.services.ch, Moteur Diesel.
- [23] www.sites.google.com, cycle de fonctionnement d'un moteur diesel à 4 temps.
- [24] www.visite.artsetmetiers.free.fr, Diagramme théorique d'un diesel.
- [25] tictactic.free.fr > Moteurs Thermiques, Chapitre III: alimentation et injection
- [26] L. Larbi, D. Bachir, A. Salah, Etude comparative entre une moteur essence et une moteur diesel, Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued, 2014-2015
- [27] environnement.wallonie.be > éducation, introduction.
- [28] Document.environnement.brussels > Air 14, Monoxyde de carbone (CO), Bruxelles environnement-dep. plan air, climat et énergie et observatoire des données de l'environnement Janvier 2011.
- [29] www.inrs.fr, Gaz d'échappement, prévenir les risques liés aux gaz d'échappement.

Résumé

Le travail choisi, pour la réalisation de notre mémoire de master, est basé sur une étude comparative entre les systèmes de fonctionnement des moteurs à essence et diesel. Ce travail est divisé en deux parties une étude bibliographique et une étude expérimentale. L'objectif de ce travail s'inscrit dans l'optique de l'étude de la production de l'énergie mécanique à partir de l'énergie chimique stockée dans le carburant (essence et mazout), grâce au processus de combustion dans les moteurs à combustion interne et son effet sur l'environnement, notamment les émissions des gaz d'échappement. Une des principales différences entre le moteur diesel et le moteur essence se trouve au niveau de la compression et de la température qui est plus élevés pour le moteur diesel comparaison avec le moteur à essence. L'injection et la combustion se font de manière très différente : injection sous forte pression provoquant l'auto-inflammation pour le diesel alors qu'une étincelle électrique se charge d'enflammer le mélange air/essence.

Mots clés : moteur à essence, moteur diesel, pollution, environnement, gaz d'échappement.

ملخص:

العمل المختار لإنجاز مذكرة الماستر الخاصة بنا تعتمد على دراسة مقارنة بين أنظمة تشغيل محركات البنزين والديزل , هذا العمل مقسم إلى جزئين جزء نظري وجزء تطبيقي. الهدف من هذا العمل هو دراسة إنتاج الطاقة الميكانيكية انطلاقا من الطاقة الكيميائية المخزنة في الوقود (بنزين ومازوت) بواسطة محركات ذات الاحتراق الداخلي وآثارها على البيئة خاصة انبعاث غازات العادم. الفرق الرئيسي بين محرك الديزل ومحرك البنزين يقع في مستوى الضغط ودرجة الحرارة اللذان هما اعلى في محرك الديزل مقارنة بمحرك البنزين.

الحقن والاحتراق ومختلف جدا :تحت حقن عالي الضغط يسبب الاشتعال الذاتي لوقود الديزل في حين أن شرارة كهربائية تقوم بإشعال خليط الهواء / الوقود.

كلمات مفتاحية: محرك بنزين، محرك ديزل، تلوث، بيئة، غاز العادم