



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université A. MIRA Bejaïa



Faculté de Technologie  
Département de génie Électrique

Mémoire de fin d'étude  
En vue de l'obtention du Diplôme de Master en  
électromécanique Option : Électromécanique

## THEME

# Étude et amélioration des systèmes d'injection des moteurs diesels

Réalisé Par :

- Issad Syphax
- Slimanou Ghiles

Encadré Par :

- Mr. Babouri Rabah

Année Universitaire 2023 – 2024



# *Remerciement :*

De par le nom de Dieu tout miséricordieux et tout compatissant. Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu tout puissant, de nous avoir armés de courage, de patience et santé pour y parvenir au bout de ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à nos promoteurs Mr : BABOURI Rabah pour nous avoir encadré durant notre projet de fin d'études et nous conseillé tout le long de notre travail.

Nous tenons aussi à remercier chaleureusement les membres de jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant d'évaluer notre projet.

Nous remercions également toute l'équipe pédagogique de l'université de Béjaia et les intervenants professionnels responsables de ma formation, pour avoir assuré la partie théorique de celle-ci.

Nous tenons à témoigner toute notre reconnaissance aux personnes suivantes, pour leur aide dans la réalisation de ce mémoire :

Messieurs BELOUSE Rafik pour nous avoir accordé des entretiens et avoir répondu à nos questions, ainsi que pour avoir partagé leur expérience personnelle. Ils ont été d'un grand soutien dans l'élaboration de ce mémoire

Mr L. SLIMANOU, pour la relecture et correction de mon mémoire. Ses conseils de rédaction ont été très précieux.

Nous présentons enfin, notre profonde gratitude à nos familles, à nos enseignants, ainsi qu'à tous ceux qui nous ont aidés de loin ou de près à réaliser ce travail.

SYPHAX &GHILES

# *Dédicaces*

Je dédie cet humble et modeste travail qui est le fruit de plusieurs

Années de mes études à :

Mes très chers parents qui m'ont toujours soutenu, aidé et encouragé au cours de mes études ;

Mes frères ;

Ma famille et mon binôme et sa famille pour leurs encouragements

Tous mes proches ;

Tous mes amis sans exception ;

Toute la promo de Génie électrique 2024 ;

Et mon encadreur Mr. BABOURI RABAH pour ses

Contributions à réaliser ce travail.

S. GHILES

# *Dédicaces*

Louange à Dieu avec amour, gratitude et reconnaissance du début à la fin. Et leur dernière invocation est : "Louange à Dieu, Seigneur des mondes." Après cinq années de dur labeur et d'efforts consacrés à la poursuite de mes rêves et de la connaissance, qui ont porté en elles les souhaits des nuits, mon dur labeur est aujourd'hui une source de réconfort pour les yeux. Aujourd'hui, alors que je me tiens au seuil de mon diplôme, je récolte les fruits de mon travail et je lève mon chapeau avec fierté. Ô Seigneur, à toi la louange avant d'être satisfait, à toi la louange lorsque tu es satisfait, et à toi la louange après satisfaction, car tu m'as permis de réaliser ce succès et d'accomplir mon rêve.

Celui qui dit "Je suis capable", l'obtient, et moi je l'ai obtenue, même si elle m'a résisté, je l'ai atteinte malgré tout.

Le voyage n'a pas été court et ne devait pas l'être, le rêve n'était pas proche et le chemin n'était pas parsemé de facilités, mais je l'ai fait et je l'ai atteint.

Avec tout mon amour, je dédie le fruit de mon succès et de mon diplôme :

À celui qui a embelli mon nom avec les plus beaux titres, qui m'a soutenu sans limites et m'a donné sans rien attendre en retour, à celui qui m'a appris que la vie est une lutte et que son arme est la connaissance, mon premier soutien dans mon parcours, mon pilier et ma force, mon refuge après Dieu, ma fierté et mon honneur :

Mon père.

À celle pour qui Dieu a placé le paradis sous ses pieds, qui m'a accueillie dans son cœur avant ses mains et m'a facilité les épreuves par ses prières, au cœur tendre et à la bougie qui m'a éclairée dans les nuits sombres, source de ma force et de mon succès, mon paradis :

Ma mère.

À ceux qui m'ont soutenue avec amour dans mes moments de faiblesse et ont écarté les difficultés de mon chemin, me montrant la voie, semant en moi la confiance et la persévérance, à ceux par qui Dieu a fortifié mon bras et qui ont été mes meilleurs soutiens mes frères :

Ithri-Redha-Anis.

Votre présence dans ma vie est un précieux cadeau. Merci d'être toujours là pour moi, de partager les hauts et les bas, et de rendre chaque jour plus lumineux. Vous êtes mes rochers, mes confidents et mes compagnons de cœur. Je vous aime infiniment :

À mes merveilleuses sœurs, Ferial – Meriem.

À tous ceux qui m'ont apporté la force et les conseils, qui ont cru en moi et m'ont soutenue dans les moments difficiles pour atteindre ce que je suis aujourd'hui :

Mes camarades, que Dieu les bénisse.

Aux piliers de la famille, mes grands-parents.

À tous ceux qui portent le nom ISSAD.

À mon binôme Ghiles et sa famille.

À tous les étudiants Master II Electromécanique.

I.SYPHAX

## Sommaire

Introduction générale : .....	1
-------------------------------	---

### Chapitre 01

1.Introduction : .....	4
2.Historique des moteurs diesels : .....	4
3.Eléments et composants du moteur Diesel :.....	5
3.1. Le circuit d'alimentation : .....	5
3.2. Le circuit de lubrification : .....	6
3.3. Le système de graissage : .....	7
3.4. Le circuit de refroidissement : .....	7
3.4.1. Refroidissement par circulation d'air : .....	7
3.4.2. Refroidissement par circulation d'eau : .....	8
3.5. Les organes mécaniques du moteur : .....	9
3.5.1.les parties fixes du moteur.....	9
3.5.1.1. Bloc moteur.....	9
3.5.1.2.la culasse.....	10
3.5.1.3.les carters de protection.....	11
3.5.1.3.1. Le carter inferieur.....	11
3.5.1.3.2. Le carter de distribustion.....	11
3.5.1.3.3. Couvre de culasse.....	11
3.5.1.4. Joint de culasse.....	11
3.5.1.5. tublure d'admission et collecteur d'echappement.....	12
3.5.2. Eléments mobiles d'un moteur : .....	12
3.5.2.1. Le piston.....	12
3.5.2.2. Segments.....	13
3.5.2.3. La bielle.....	14
3.5.2.4. Vilebrequin.....	14
3.5.2.5. Volent moteur.....	15
3.5.2.6. Arbre à came.....	15
3.5.2.7. Les soupapes.....	16

## Sommaire

---

3.6.	Principe de fonctionnement de moteurs diesel :	16
3.7.	Les types de moteurs diesels :	17
3.7.1.	Moteur diesel à quatre temps :	17
3.7.1.1.	Cycle a quatre temps :	17
3.7.1.2.	Le moteur diesel a deux temps :	18
3.8.	Les avantages et les inconvénients du moteur diesel :	19
4.	Conclusion	190

## Chapitre 02

2.	Introduction :	22
2.1.	Historique de système d'injection :	22
2.2.	Evolution :	22
2.3.	Fondements théoriques des systèmes d'injection :	23
2.4.	Principes de fonctionnement des systèmes d'injections :	23
2.4.1.	Arrivée du carburant :	24
2.4.2.	Refoulement du carburant :	24
2.4.3.	Fin de refoulement :	25
2.5.	Types de systèmes d'injection :	25
2.5.1.	Moteurs à injection indirect :	25
2.5.2.	Moteurs à injection direct	26
2.5.3.	Moteur à rampe commune :	28
2.6.	Composants principaux des systèmes d'injection :	29
2.6.1.	Injecteurs :	30
2.6.1.1.	Injecteur de type Common Rail :	30
2.6.1.2.	Injecteur à sac et injecteur VCO :	30
2.6.2.	Pompe à injection :	31
2.6.2.1.	Type de pompes d'injection :	32
2.6.2.1.1.	Pompe d'injection mécanique :	32
2.6.2.1.1.1.	pompe d'injection rotative (rotary injection pump)	32
2.6.2.1.2.	Pompe d'injection électronique :	32
2.6.2.1.2.1.	Pompe à rampe commune (Common Rail)	33
2.6.2.2.	La pompe de transfert :	33
2.6.3.	Calculateur moteur (ECU) :	34
2.6.4.	Filtre à carburant :	34

## Sommaire

---

2.6.5. Vanne de régulation de pression (Pressure Control Valve):.....	34
2.7. Dispositif de démarrage à froid : .....	35
2.8. Les Problèmes courants des systèmes d'injection diesel : .....	36
2.8.1. Généralités : .....	36
2.8.2. La mauvaise qualité de carburant : .....	36
2.8.3. Filtre à gasoil encrassé : .....	37
2.8.4. Panne de l'électrovanne : .....	37
2.8.5. Fuites des joints des injecteurs : .....	38
2.8.6. Encrassement partiel des injecteurs : .....	38
2.8.7. Fuite dans le circuit d'injection : .....	39
2.8.8. Usure des injecteurs : .....	39
2.8.9. Problèmes électroniques dans les systèmes d'injection diesel.....	39
2.8.10. Problème de synchronisation.....	39
2.8.11. Défaillance de la pompe à haute pression.....	40
2.8.12. Problème de pression de rail commune.....	40
2.8.13. Problème lié aux capteurs et actionneurs.....	42
2.9. Conclusion .....	191

## Chapitre 03

3. Introduction : .....	43
3.1. Solution pour les défaillances des systèmes d'injections : .....	43
3.1.1. La mauvaise qualité du carburant : .....	43
3.1.2. Filtre a gasoil encrassé : .....	43
3.1.3. Panne de l'électrovanne : .....	43
3.1.4. Fuite des joints des injecteurs : .....	44
3.1.5. Encrassement partiel de l'injecteur : .....	44
3.1.6. Usure des injecteurs : .....	45
3.1.7. Fuite dans le circuit d'injection : .....	45
3.1.8. Problèmes électroniques dans les systèmes d'injection diesel : .....	46
3.1.9. Problème de synchronisation : .....	47
3.1.10. Défaillance de la pompe à haute pression : .....	47
3.1.11. Problème de pression de rail commune : .....	47
3.1.12. Problème lié aux capteurs et actionneurs : .....	48
3.2. Perspectives pour améliorer les systèmes d'injection diesel : .....	48



## Sommaire

---

3.2.1. Augmentation de la Pression d'Injection : .....	48
3.2.1.1. Avantages de l'Augmentation de la Pression d'Injection.....	48
3.2.1.2. Réalisation de l'Amélioration.....	49
3.2.2. Utilisation de Matériaux Avancés.....	49
3.2.2.1. Polymères Renforcés à Base de Nanotubes de Carbone (CNT) :.....	50
3.2.2.2. Alliages à Base de Magnésium Renforcés par des Nanoparticules de Céramique :.....	50
3.2.3. Gestion Électronique Avancée.....	51
3.2.3.1. Développement de Capteurs Innovants.....	51
3.2.3.2. Intégration de l'Intelligence Artificielle.....	51
3.2.3.3. Systèmes de Contrôle Prédicatif.....	52
3.2.4. Innovation dans les Injecteurs piézoélectrique.....	52
3.2.4.1. Améliorations Techniques.....	52
3.2.4.1.1. Amélioration des Matériaux Piézoélectriques : .....	52
3.2.4.1.2. Techniques de Fabrication Avancées.....	52
3.2.4.1.3. Amélioration de la Gestion Thermique : .....	53
3.2.4.1.4. Contrôle en Temps Réel.....	53
3.2.5. Intelligence Artificielle et Machine Learning.....	53
3.2.6. Ajout d'un Réservoir d'Additif .....	54
3.2.6.1. Composants et Fonctionnement Technique.....	54
3.2.6.1.1. Réservoir d'Additif.....	54
3.2.6.1.2. Capteurs de pourcentage :.....	55
3.2.6.1.3. Electroaimant :.....	55
3.2.6.1.4. Unité de Contrôle Électronique (ECU).....	55
3.2.7. Ajout d'un filtre directement avant le réservoir de carburant :.....	55
3.2.7.1. Fonctionnement de la Technique.....	55
3.2.7.2. Les avantages.....	56
3.3. Conclusion.....	56
Conclusion général : .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

## Table des Figures

Figure.1.1 : circuit d'alimentation.....	6
Figure1.2 : circuit de lubrification.....	6
Figure.1.3 : circuit d'air.....	8
Figure.1.4 : circuit d'eau .....	9
Figure.1.5 : bloc moteur. ....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure.1.6 : la culasse.....	<b>Erreur ! Signet non défini.0</b>
Figure.1.7 : Carter inferieur et carter de distribution. ....	11
Figure.1.8 : joint de culasse et Couvre de culasse.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure.1.9 : les composant de piston. ....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure.1.10 : les segments. ....	<b>Erreur ! Signet non défini.3</b>
Figure.1.11 : les composantes de la bielle. ....	<b>Erreur ! Signet non défini.4</b>
Figure.1.12 : vilebrequin. ....	<b>Erreur ! Signet non défini.4</b>
Figure.1.13 : volant monobloc et volant bi-masse. ....	15
Figure.1.14 : arbre à came. ....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure.1.15 : soupape d'admission et d'échappement. ....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure.1.16 : les phases de cycle a quatre temps.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure.1.17 : les phase de cycle a deux temps. ....	19
Figure 2.1 Remplissage .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 2.2 début d'injection. ....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 2.3 fin d'injection.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 2.4 : Les structures des préchambres de combustion .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 2.5 : L'injection directe.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 2.6 : système Common Rail.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 2.7 : L'injecteur Diesel à rampe Commun. ....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 2.8 : Injecteur à sac (à gauche) et injecteur VCO (à droite). ....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 2.9 : Pompe haute pression et pompe de transfert .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 2.10 : Bougie de préchauffage. ....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 2.11 : Filtre à gasoil encrassé et neuf.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 2.12 : Électrovanne .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 2.13 : Fuite des joints des injecteurs .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

---

# **Introduction générale**

---

## Introduction générale :

Dans un souci de développement durable et afin de conserver nos moyens de transport actuels, les constructeurs automobiles cherchent constamment à améliorer les moteurs de leurs véhicules. L'un des domaines clés de cette amélioration réside dans les systèmes d'injection, dont l'objectif est de diminuer les émissions polluantes et d'optimiser le rendement des moteurs.

En effet, le système d'injection est souvent considéré comme une composante essentielle dans le moteur, car il contrôle l'apport du carburant en fonction des besoins du moteur et assure la haute pression d'injection requise pour l'atomisation dans la chambre de combustion. Ce système joue donc un rôle crucial dans la consommation du carburant, les émissions polluantes et le bruit des moteurs.

Les technologies utilisées dans les systèmes d'injection ont considérablement évolué ces dernières années, notamment dans le secteur des véhicules particuliers et utilitaires. Les exigences actuelles en matière de hautes performances, de faibles consommations et émissions, de réduction du bruit et de coût abordable font de l'optimisation des systèmes d'injection un sujet de recherche particulièrement pertinent. Cependant, il apparaît que les systèmes actuels n'ont pas encore été pleinement exploités. En raison des technologies employées, certains systèmes s'adaptent à leur utilisation et évoluent au fil du temps. C'est notamment le cas des moteurs diesel, qui, depuis leur invention, ont subi de nombreuses évolutions pour rester l'un des systèmes de propulsion les plus importants au monde.

Historiquement considérés comme très polluants, les moteurs diesel ont dû évoluer pour se conformer aux exigences des nouvelles normes environnementales, quelles que soient les régions (américaines, européennes, etc.). Malgré leur réputation, les moteurs diesel présentent une meilleure efficacité thermodynamique que les moteurs à essence. La cause majeure de la pollution des moteurs diesel réside dans la mauvaise combustion du carburant dans les cylindres, ce qui a conduit à l'introduction de l'injection haute pression dans les années 1990. Ce mémoire a pour objectif d'étudier et d'analyser les systèmes d'injection des moteurs diesel afin de comprendre leur fonctionnement et d'identifier les éléments essentiels qui influencent l'injection du carburant. Cette étude est structurée en trois chapitres : le premier chapitre présente une généralité sur les moteurs diesel, le deuxième chapitre se concentre sur l'étude des systèmes d'injection et leurs problèmes, et le troisième chapitre propose des solutions aux problèmes identifiés ainsi que des perspectives d'amélioration pour les systèmes d'injection diesel.

## Introduction Générale

---

En conclusion, l'optimisation des systèmes d'injection est essentielle pour améliorer l'efficacité et réduire les émissions polluantes des moteurs diesel, contribuant ainsi à un avenir plus durable et plus respectueux de l'environnement.

---

# Chapitre 1

---

## **Généralité sur les moteurs diesels**

### **1. Introduction :**

Un moteur est un ensemble de pièces qui convertit l'énergie chimique du carburant en énergie mécanique. Les moteurs à combustion interne incluent ceux fonctionnant à l'essence, au diesel, au charbon, ou au bois. Les moteurs diesel, plus lourds que ceux à essence, peuvent être à deux ou quatre temps et refroidis par air ou eau. Ils utilisent un taux de compression élevé (500-600 C<sup>0</sup>) pour enflammer le carburant sans étincelle, contrairement aux moteurs semi-diesels qui nécessitent des bougies.

Les moteurs ils compriment l'air avant d'injecter le carburant, lequel s'enflamme grâce à la chaleur de compression. Les moteurs à quatre temps ont des soupapes d'admission et d'échappement, tandis que les moteurs à deux temps utilisent des trous dans le cylindre pour l'air et une soupape d'échappement pour les gaz brûlés.

Les moteurs modernes ont des bougies de préchauffage pour faciliter le démarrage. Bien que les moteurs diesel puissent produire environ 15 à 20 % moins de puissance par litre de cylindrée par rapport aux moteurs à essence de même taille, ils sont en général environ 25 à 30 % plus économes et utilisent des combustibles de moindre qualité. Cependant, la construction des moteurs diesel est plus complexe en raison des températures élevées et des contraintes importantes, nécessitant des pièces robustes, un bon refroidissement, et un processus de graissage efficace.

Les moteurs diesel sont adaptés aux grandes machines, tandis que les moteurs à essence conviennent mieux aux petites voitures. [2]

### **2. Historique des moteurs diesels : [1]**

Le moteur diesel doit son nom à son inventeur, l'ingénieur allemand Rudolf diesel, né le 18 mars 1858 à paris, à l'âge de 35 ans il publia un article après de longues études dans un ouvrage intitulé : « théories et construction thermique rationnel ». Et disparu en 1913 alors qu'il se rendait en Angleterre.

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 était utilisée la chaleur due à la compression de l'air pour provoquer l'allumage du combustible.

Cinq mois plus tard, la société KRUPP fait les essais du premier diesel, dans l'atelier d'Augs-bourg ; le combustible injecté après pulvérisation, explosa comme prévu mais malheureusement, le moteur ne résista pas. Toutefois, le but recherche était atteint et Rudolf diesel ne se découragea pas : il construit un moteur plus résistant et fit une démonstration du parfait fonctionnement de son nouveau moteur à Kassel en 1897.

A la suite de ces expériences, Rudolf inventa, en 1918, 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.

En 1925, la firme Benz réalisa un moteur diesel à deux cylindres et GUKERS un moteur diesel deux temps à cylindres opposés.

PACKARD construisit en 1930 un moteur d'avion en étoile, par refroidissement air.

Sans les études poussées de Rudolf diesel tous les dérivés du moteur diesel n'auraient jamais pu être réalisés.

Rudolf diesel, passionné de mécanique, a obtenu différents brevets dont un en particulier en 1892 intitulé « procédés pour produire de la force motrice en faisant brûler un combustible ».

### **3. Eléments et composants du moteur Diesel :**

#### **3.1.Le circuit d'alimentation :[2]**

Le circuit d'alimentation des moteurs diesel comprend plusieurs composants essentiels : les injecteurs de combustible, les canalisations d'admission et de sortie, les collecteurs de combustible intégrés à la culasse, la pompe d'alimentation ou pompe à combustible, la crépine, la pompe d'injection, le filtre et les canalisations de combustible. Le gas-oil est aspiré depuis le réservoir en passant par la crépine, puis pénètre dans la pompe à combustible au côté admission. De la pompe basse pression, le gas-oil est chassé à travers le filtre vers le collecteur d'admission, puis dans les canalisations du côté admission de chaque injecteur. L'excédent de gas-oil retourne du côté sortie des injecteurs au collecteur de retour de gas-oil, puis retourne dans le réservoir, assurant un cycle continu de carburant propre et sous pression pour le bon fonctionnement du moteur.



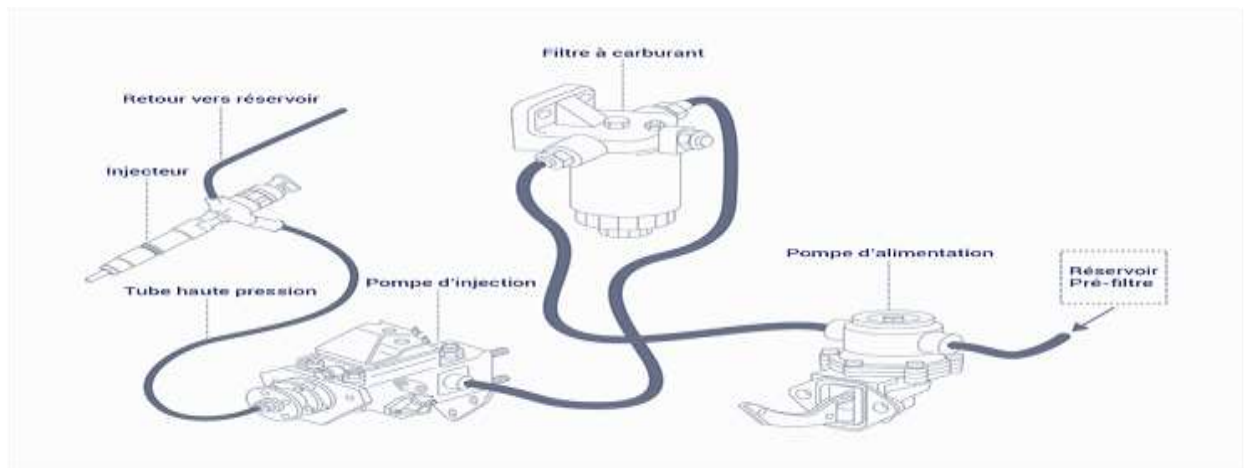


Figure.1.1 : circuit d'alimentation.

### 3.2. Le circuit de lubrification : [3]

Le circuit de lubrification dans les moteurs diesel est essentiel pour assurer le bon fonctionnement et la longévité du moteur. Ce système comprend plusieurs composants clés : le radiateur, le carter d'huile, la pompe à huile, le filtre à huile, les conduites d'huile et les gicleurs d'huile. L'huile est aspirée du carter d'huile par la pompe à huile, qui la pressurise et l'envoie à travers le filtre à huile. Le filtre élimine les impuretés pour éviter l'usure et les dommages aux composants du moteur. L'huile propre est ensuite distribuée via les conduites d'huile vers les différentes parties du moteur, telles que les paliers du vilebrequin, les coussinets de bielle, les pistons, les arbres à cames et les soupapes. Les gicleurs d'huile dirigent également l'huile vers des zones spécifiques nécessitant un refroidissement supplémentaire, comme le dessous des pistons. Après avoir lubrifié et refroidi les composants, l'huile retourne au carter d'huile pour être recyclée dans le circuit. Ce processus continu assure une réduction de la friction, un refroidissement des pièces mobiles et une protection contre l'usure et la corrosion.

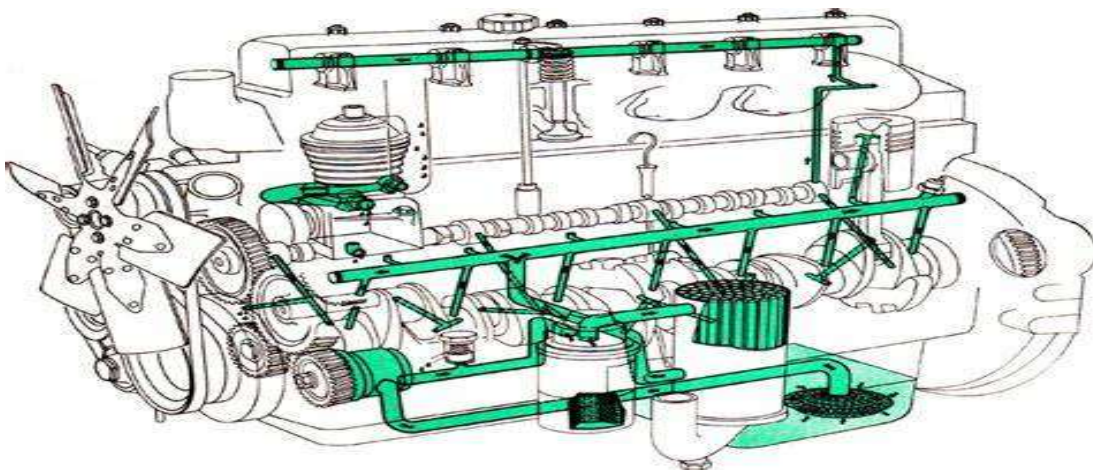


Figure1.2 : circuit de lubrification.

### **3.3.Le système de graissage :[2]**

Le système de graissage dans un moteur diesel est crucial pour plusieurs raisons : il réduit le frottement entre les pièces mobiles, refroidit les surfaces, prévient la corrosion, neutralise les substances nocives telles que les produits de combustion, et favorise l'étanchéité entre les pièces en mouvement. Différentes méthodes peuvent être utilisées pour distribuer le lubrifiant aux parties en mouvement d'un ensemble mécanique, en fonction de l'architecture du moteur et des exigences en termes de quantité et de température de l'huile.

Les principales méthodes de graissage comprennent :

- Le graissage par graisseur : de la graisse est injectée sous pression entre les surfaces en mouvement à l'aide d'un dispositif spécial.
- Le graissage goutte à goutte : l'huile s'écoule par gravité sur la zone à lubrifier.
- Le graissage par barbotage : l'huile contenue dans un récipient est projetée sur les pièces à lubrifier par un dispositif tournant qui plonge dans le récipient.
- Le graissage forcé : l'huile est canalisée vers les pièces à lubrifier par un circuit sous pression.

### **3.4.Le circuit de refroidissement :[2]**

Il existe, deux systèmes de refroidissement :

- ✓ Par circulation d'air
- ✓ Par circulation d'eau.

#### **3.4.1. Refroidissement par circulation d'air :**

Bien que moins courant dans les moteurs diesel, ce système est toujours utilisé dans certains cas. Il nécessite une surface d'échange accrue pour compenser le faible coefficient de conductivité de l'air par rapport à l'eau. Les surfaces d'échange sont augmentées par l'ajout d'ailettes de refroidissement sur les cylindres et la culasse, et dans certains cas, l'air est pulsé à travers le moteur par une soufflante.

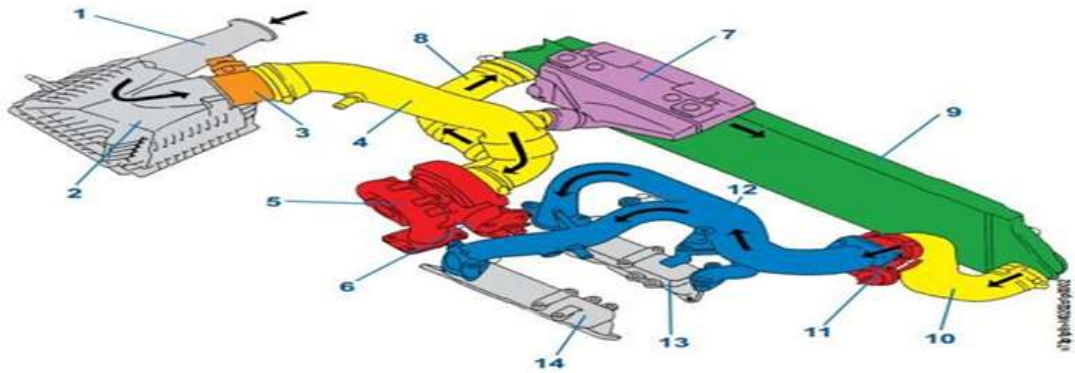


Figure.1.3 : circuit d'air.

Les composants de circuit d'air

1. Conduit d'entrée d'air.	8. Conduit d'admission entrée échangeur.
2. Boîtier filtre à air.	9. Echangeur air/air.
3. Débitmètre d'air.	10. Conduit d'admission sortie échangeur.
4. Conduit d'admission d'air.	11. Volet étouffoir.
5. Turbocompresseur.	12. Répartiteur d'admission.
6. Élément dérégulation de pression de Suralimentation.	13. Collecteur d'admission avant.
7. Résonateur d'air.	14. Collecteur d'admission arrière.

### 3.4.2. Refroidissement par circulation d'eau :

Dans les moteurs diesel, le refroidissement par eau est le plus couramment utilisé. Dans ce système, une circulation d'eau interne refroidit le moteur, La circulation de l'eau est assurée par une pompe centrifuge, tandis que le thermostat régule le flux d'eau vers le radiateur en fonction de la température du moteur. Le radiateur agit comme un échangeur de chaleur eau/air pour abaisser la température du liquide de refroidissement. La pompe à eau, élément clé du système, assure la circulation du liquide de refroidissement à travers le moteur et le radiateur pour évacuer la chaleur. La circulation de l'eau se fait à travers le bloc-cylindres et la culasse, puis remonte à la culasse par des trous pratiqués dans le joint de culasse. Le thermostat contrôle le flux d'eau vers le radiateur en fonction de la température du moteur, favorisant une montée en température rapide et régulant efficacement la température du liquide de refroidissement. Le système comprend également un vase d'expansion pour absorber les variations de volume du liquide de refroidissement dues à la dilatation thermique. Le liquide de refroidissement, composé d'eau, d'éthylène-glycol et d'inhibiteur de corrosion, joue un rôle crucial dans le maintien des températures optimales et dans la protection contre la corrosion.

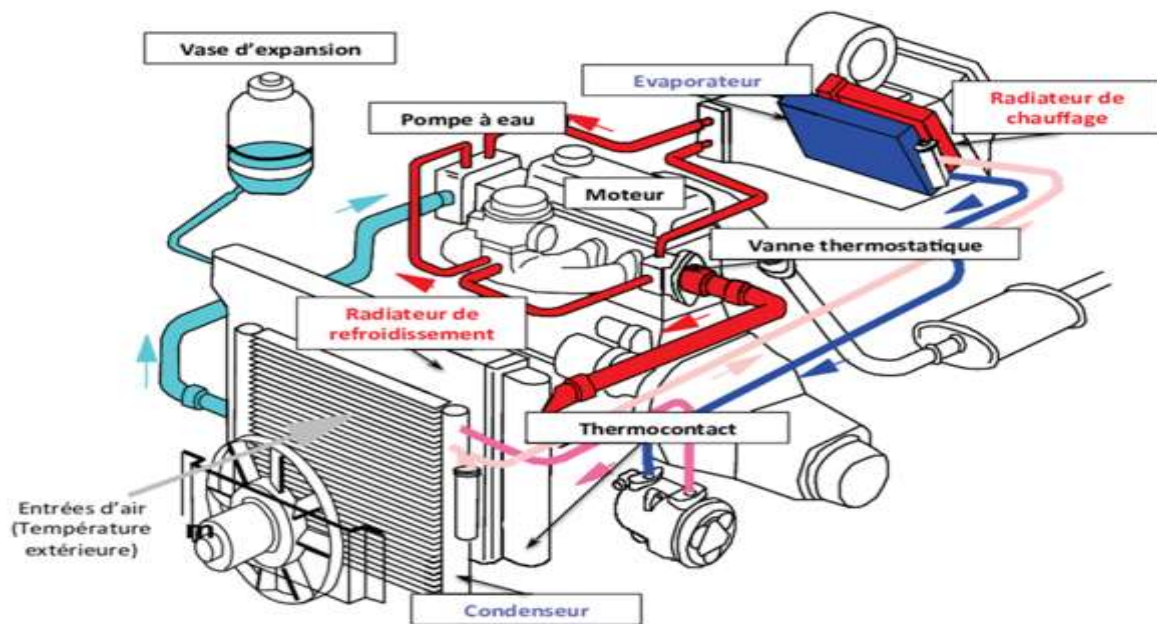


Figure.1.4 : circuit d'eau.

### 3.5. Les organes mécaniques du moteur :

#### 3.5.1. Les parties fixes du moteur :

##### 3.5.1.1. Bloc moteur :[4]

Le bloc-moteur, également appelé bloc-cylindres, est la pièce maîtresse du moteur. Le bloc est en fonte ou en alliage d'aluminium moulé. Le bloc-cylindres, est le bâti d'un moteur à pistons dont la partie intérieure est usinée pour former les cylindres ou les logements de chemises, s'il s'agit d'un moteur à chemises rapportées. L'eau de refroidissement peut circuler librement à l'intérieur du carter-moteur. La partie supérieure du bloc est dressée pour former le plan de joint pour la culasse, qui permet de coiffer les cylindres.

Ces éléments principaux consistent en :

- Contenir les cylindres ;
- Supporter le vilebrequin, la culasse, les accessoires... ;
- Servir de support à l'huile de lubrification ;
- Servir de support à l'eau de refroidissement (si un tel système de refroidissement est utilisé).

Afin d'assurer ces fonctions, le bloc-moteur doit :

- Être rigide (sinon il risque d'être bruyant et d'avoir des problèmes d'étanchéité ou des pertes mécaniques).

- La conductivité thermique est suffisante. (Pour le font 45-55 (W/m·K), pour l'aluminium 150-170 (W/m·K)).
- Être usinable.
- Être évacuée (huile et eau).

Enfin, il doit : [3]

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



Figure.1.5 : bloc moteur.

### 3.5.1.2. La culasse :

Les culasses de moteur diesel sont généralement fixées avec quatre points par cylindre, tandis que les moteurs diesel puissants peuvent nécessiter jusqu'à sept points de fixation par cylindre. Elles sont fabriquées en alliage d'aluminium ou en fonte.

Les culasses contiennent les circuits d'eau de refroidissement et d'huile de lubrification, et supportent souvent les arbres à cames et les systèmes de distribution. Pour cela, un matériau est utilisé qui possède une bonne conductivité thermique, une rigidité élevée, et qui est coulable et usinable.

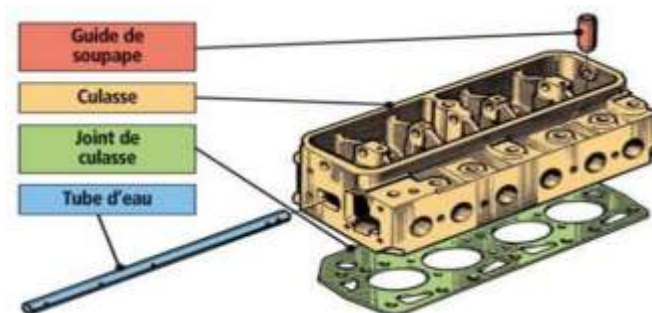


Figure.1.6 : la culasse.

### 3.5.1.3. Les carters de protection : [3]

Ce sont les couvercles qui couvrent ou ferment les différentes faces du moteur.

#### 3.5.1.3.1. Le carter inférieur :

Le carter inférieur abrite le vilebrequin et les têtes de bielle, contenant la réserve d'huile nécessaire au bon fonctionnement du moteur. Il peut être fabriqué en tôle emboutie ou en alliage léger, avec des nervures extérieures pour le refroidissement de l'huile. L'étanchéité entre le carter-moteur et le carter inférieur est assurée par un joint en liège ou en caoutchouc synthétique, empêchant les fuites d'huile.

#### 3.5.1.3.2. Le carter de distribution :

Protégeant la liaison mécanique entre les arbres à cames, le carter de distribution est généralement réalisé en tôle ou en alliage léger. Il protège cette liaison essentielle et garantit son bon fonctionnement.

#### 3.5.1.3.3. Couvre de culasse :

Le couvre-culasse, situé sur la partie supérieure du moteur, assure une protection hermétique de la culasse contre les débris et la poussière. Il facilite également l'accès aux soupapes pour les inspections et les réparations, tout en maintenant le jeu approprié entre les soupapes et les cames. Principalement fabriqué en aluminium pour sa légèreté et sa résistance à la corrosion, il peut également être en alliage léger.

#### 3.5.1.4. Joint de culasse :

Essentiel pour assurer l'étanchéité entre la culasse et le bloc-cylindres, le joint de culasse résiste à des températures et des pressions extrêmes. Fabriqué à partir de matériaux résistants comme le métal multicouche ou des composites modernes, il empêche les fuites de gaz d'échappement, d'huile et de liquide de refroidissement, garantissant le bon fonctionnement du moteur.



Figure.1.7 : Carter inferieur et carter de distribution.



Figure.1.8 : joint de culasse et Couvre de culasse.

### 3.5.1.5. Tubulure d'admission et collecteur d'échappement : [1]

La tubulure d'admission, également connue sous le nom de collecteur d'admission, peut-être d'une seule pièce ou composée de plusieurs éléments, par exemple un par cylindre avec un filtre à air également par cylindre. En principe, elle est placée de la même manière que le collecteur d'échappement et possède quelquefois un dispositif de réchauffage électrique, un robinet pour verser du "start-pilot" (liquide à base d'éther), ou un autre dispositif particulier facilitant la mise en route lorsque le moteur est froid.

Le collecteur d'échappement est souvent composé de plusieurs pièces afin de lui donner une plus grande élasticité ; cela permet également de réduire les déformations dues à l'échauffement. La mise en place du collecteur est donc plus facile.

### 3.5.2. Eléments mobiles d'un moteur :[5]

La force de la combustion, unidirectionnelle, est convertie en une force circulaire d'un couple de force dans un moteur à piston alternatif. Les composants mécaniques qui subissent ce changement sont les composants mobiles du moteur : le piston, la bielle, le vilebrequin. On peut distinguer l'arbre à cames, les soupapes et le volant moteur pour assurer le fonctionnement des différents systèmes.

#### 3.5.2.1. Le piston :

Un piston est une pièce mécanique cylindrique qui se déplace à l'intérieur d'un cylindre complémentaire en effectuant un mouvement de va-et-vient (haut et bas).

Le piston il doit remplir quatre fonctions importantes :[1]

- Assurer le maximum d'étanchéité de la chambre de combustion par l'intermédiaire des segments ;
- Transmettre à la bielle l'effort produit par la combustion ;
- Servir de guide au pied de bielle ;
- Transmettre la chaleur aux parois du cylindre afin de l'évacuer.

De plus, le piston doit supporter :[1]

- La pression des gaz enflamme pendant le temps moteur ;
- L'effort d'inertie du a son mouvement de va-et-vient.

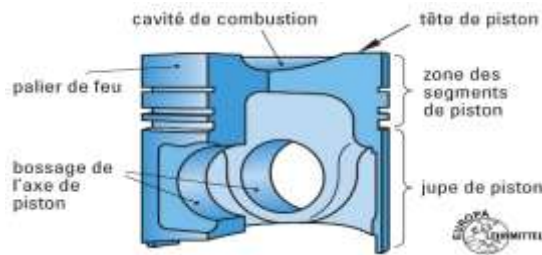


Figure.1.9 : les composants de piston.

### 3.5.2.2. Segments : [1]

Les segments assurent l'étanchéité de la chambre de combustion. De plus, ils contribuent au refroidissement du piston du fait de leur bon contact avec le cylindre. Enfin ils empêchent les remontées d'huile et participent au guidage correct du piston dans le cylindre. Le nombre de segments est variable (2 temps : 2 ou 1 ; 4 temps : 3 ou 2), cependant on distingue trois types principaux de segments. Les 3 types, positionnés dans l'ordre de haut en bas sur le piston, sont :

- ❖ **Le segment << coupe de feu >>** : Il assure l'étanchéité de la chambre de combustion. Une haute résistance à la chaleur. Il est placé dans la gorge supérieure du piston. Il est souvent en chrome ; est en générale plus large que les autres, ce qui améliore son refroidissement. La coupe des segments peut être droite, inclinées à 45 degrés, en profile de baïonnette ou légèrement conique (1 à 2/100 de mm). Les plus utilisées à l'heure actuelle sont les coupes droites ou inclinées à 45 degrés.
- ❖ **Le segment de compression** : au nombre de deux parfois plus suivant l'importance de piston. Comme le précédent, ils assurent l'étanchéité et évite la consommation d'huile ;
- ❖ **Le segment racleur** : qui empêchent les remontées d'huile vers la chambre de combustion en raclent l'huile sur la paroi intérieure de cylindre pour la laisser échapper dans le carter par les trous percés au fond de leur gorge, et communiquant avec l'intérieur du piston.

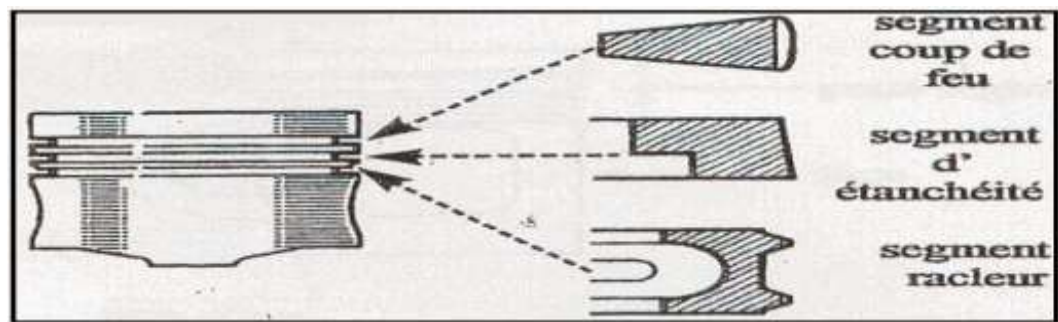


Figure.1.10 : les segments.



### 3.5.2.3. La bielle :[3]

Les bielles sont des composants essentiels reliant les pistons au vilebrequin, transformant le mouvement rectiligne des pistons en mouvement rotatif du vilebrequin. Elles se composent de trois parties principales : le pied de bielle, le corps de bielle, et la tête de bielle. Le pied de bielle est relié à l'axe du piston, généralement avec une bague en bronze ou parfois une bague à aiguilles. Le corps de bielle, en forme de "I", relie le pied de bielle à la tête de bielle. La tête de bielle, fixée au chapeau par des boulons en acier à haute résistance, assure la connexion avec le vilebrequin. Le plan de contact entre la tête de bielle et son chapeau est habituellement perpendiculaire à l'axe du corps de bielle, bien que des variantes obliques existent. Les bielles, souvent en acier matrice comme l'acier au nickel-chrome ou chrome-molybdène, sont couramment utilisées dans les moteurs diesel routiers en raison de leur résistance et de leur durabilité.



Figure.1.11 : les composantes de la bielle.

### 3.5.2.4. Vilebrequin : [1]

Le vilebrequin d'un moteur diesel, forgé en acier à haute résistance comme le nickel-chrome ou le nickel-chrome-molybdène, est crucial pour convertir le mouvement alternatif des pistons en un mouvement rotatif. Composé de manivelles en forme de Z, de tourillons, de manetons et de coussinets anti-frottement, il relie les pistons au vilebrequin via les bielles, créant un couple moteur. Ce couple est transmis aux roues motrices via la boîte de vitesses et le pont, tout en alimentant les auxiliaires du moteur. Pour assurer un fonctionnement stable et sans vibrations, le vilebrequin est équilibré statiquement et dynamiquement.



Figure.1.12 : vilebrequin.

### 3.5.2.5. Volant moteur : [6]

Le volant moteur, fixé au vilebrequin, est essentiel pour transmettre la rotation du moteur aux roues et pour le fonctionnement de l'embrayage. Il régule également la rotation du moteur et facilite le démarrage en entraînant le démarreur. Il existe deux types principaux de volants moteurs : le volant moteur rigide (monomasse) et le volant moteur bi-masse (double volant amortisseur). Le volant rigide, une pièce unique en acier, est simple, moins coûteux et durable, mais moins efficace pour amortir les vibrations. En revanche, le volant bi-masse, composé de deux masses reliées par des ressorts et des roulements à billes, est plus cher et plus lourd, mais offre un meilleur amortissement des vibrations et réduction du bruit.



Figure.1.13 : volant monobloc et volant bi-masse.

### 3.5.2.6. Arbre à came : [7]

Les arbres à cames sont généralement fabriqués en fonte nodulaire, fonte malléable à cœur noir, ou en acier forgé. Ils tournent dans des paliers lisses fixés sur la culasse ou percés dans celle-ci. Pour résister à l'usure, les arbres en acier sont cémentés trempés ou nitrurés, tandis que ceux en fonte sont trempés. Une came se compose d'une rampe d'ouverture, d'un lobe excentré, d'une rampe de fermeture et d'un talon. Le profil des cames est soigneusement conçu pour ouvrir les soupapes à la bonne vitesse et les soulever sans contraintes excessives ni bruit. Il existe plusieurs types de cames : quart de course, trois-quarts de course, et pleine course, ces dernières étant utilisées dans les moteurs à haut rendement pour améliorer le rendement volumétrique malgré l'augmentation du bruit.



Figure.1.14 : arbre à came.

### 3.5.2.7. Les soupapes : [7]

Les soupapes et leurs mécanismes régulent l'admission de l'air, scellent le cylindre pour la compression et la combustion, et permettent l'évacuation des gaz brûlés. Elles fonctionnent sous des conditions extrêmes de chaleur et de pression. Les principaux composants comprennent la tête de soupape en acier inoxydable ou en alliage de titane, le siège de soupape en acier ou en fonte pour l'étanchéité, le guide de soupape en fonte ou en acier fritté nécessitant de la lubrification, la tige de soupape en acier reliant la tête au système de commande, le ressort de soupape en acier pour maintenir la soupape fermée, la clavette de soupape en acier pour fixer la tige au système de commande, et le joint de soupape en caoutchouc ou matériau composite pour assurer l'étanchéité.



Figure.1.15 : soupape d'admission et d'échappement.

### 3.6.Principe de fonctionnement de moteurs diesel :

Les moteurs diesel fonctionnent en brûlant de manière autonome du carburant diesel, du fioul lourd ou de l'huile végétale brute dans de l'air comprimé à une pression d'environ 35 bars (1:20 du volume du cylindre) et à une température comprise entre 600°C et 1500°C. Le carburant s'enflamme presque immédiatement après l'injection, sans nécessiter d'allumage par bougie. Lors de la combustion, la température et la pression dans le cylindre augmentent considérablement (entre 60 et 100 bars), ce qui entraîne le déplacement d'une bielle par le piston et la rotation du vilebrequin. Ce processus mécanique convertit l'énergie chimique du carburant en énergie mécanique qui propulse le véhicule ou l'engin équipé du moteur diesel.

### 3.7. Les types de moteurs diesels :

#### 3.7.1. Moteur diesel à quatre temps :

##### 3.7.1.1. Cycle a quatre temps : [1]

C'est l'ensemble des évolutions qui subissent une même masse de mélange, depuis son entrée dans le cylindre jusqu'à sa sortie dans l'atmosphère, avec une variation de volume, de pression et de température.

Les quatre temps qui correspondent à une rotation du vilebrequin de  $720^\circ$ , soit deux tours dans ce cycle, nous avons les phases suivantes :

##### **1<sup>er</sup> temps -admission :**

Lorsque la soupape d'admission s'ouvre, le mouvement descendant du piston crée une aspiration, permettant à l'air d'entrer dans le cylindre

##### **2<sup>eme</sup> temps – compression :**

La soupape d'admission se ferme. En montant, le piston comprime l'air à une pression comprise entre  $3 \cdot 10^6$  et  $4 \cdot 10^6$  (soit environ 30 à 40 kg/cm<sup>2</sup>). Cette compression rapide entraîne une élévation de la température, atteignant environ 500 à 600°C.

##### **3<sup>eme</sup> temps – injection, combustion, détente :**

Lorsque le piston atteint le point mort haut (PMH) à la fin de la compression, le carburant est injecté dans la chambre de combustion. La pression d'injection doit être plus élevée que la pression régnant dans le cylindre à ce moment-là, variant généralement entre  $8 \cdot 10^6$  et  $25 \cdot 10^6$  (soit 80 à 250 kg/cm<sup>2</sup>).

Au contact de l'air comprimé à haute température, le carburant s'enflamme spontanément, étant donné que la température d'inflammation du gazole est d'environ 300°C, bien inférieure à celle de l'air dans le cylindre. Cette combustion démarre peu après le début de l'injection, avec un laps de temps mesurable appelé "délai d'allumage".

Le volume de gaz augmente rapidement, poussant le piston vers le bas (point mort bas ou PMB). Le vilebrequin absorbe de l'énergie tout au long de cette course, constituant le temps moteur. Lors de la combustion, la pression atteint entre  $5 \cdot 10^6$  et  $10^7$  (soit 50 à 100 kg/cm<sup>2</sup>), avec une température d'environ 1800 à 2000°C.

##### **4<sup>eme</sup> temps -échappement :**

La soupape d'échappement s'ouvre, le gaz brules sont chasses par le piston qui remonte. Pour la distribution nous trouvons, comme sur les moteurs à explosion, des avances et des retards à l'ouverture ou à la fermeture des soupapes.

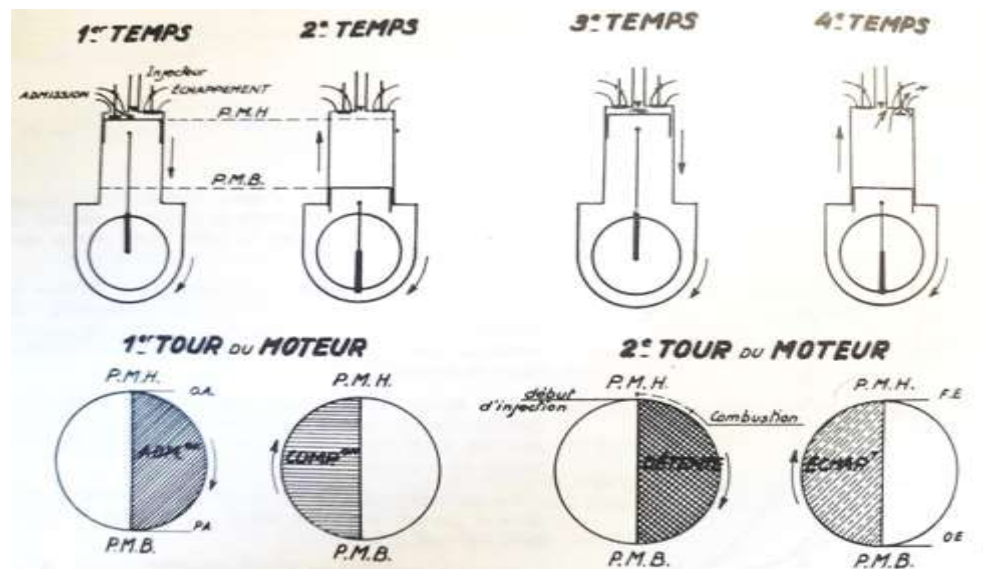


Figure.1.16 : les phases de cycle à quatre temps.[1]

### 3.7.1.2. Le moteur diesel a deux temps : [1]

Dans un moteur diesel fonctionnant selon le cycle à deux temps, les phases d'admission et d'échappement sont considérablement réduites. Ces deux opérations se déroulent en partie simultanément, sous la forme d'un balayage du cylindre à la fin de la détente, grâce à de l'air comprimé produit par un compresseur.

La plupart des moteurs diesel à deux temps utilisent un système de balayage en sens unique, où les orifices d'admission et d'échappement sont situés à deux extrémités opposées. La disposition peut être classique, avec une soupape en tête du cylindre, ou sans soupape, permettant ainsi d'assurer la distribution uniquement par des lumières.

- **Principe de fonctionnement :[1]**

Dans ce type de moteur, le cylindre comprend trois lumières :

- ✓ Une lumière d'admission d'air (A),
- ✓ Un canal de transvasement de l'air du carter dans le cylindre (T),
- ✓ Une lumière d'évacuation des gaz brûlé (E).

1<sup>er</sup> temps :

Au début du premier temps, les orifices T et S sont obturés par le piston ; l'orifice A est ouvert et le carter se remplit d'air du fait de la dépression créée par le piston lors de son ascension.

Lorsque le piston descend, chasse par la combustion des gaz, il comprime l'air dans le carter à partir du moment où l'orifice A est obturé par le piston. Puis, il découvre d'abord la lumière E d'échappement, et ensuite la lumière T de transvasement ; l'air comprimé dans le carter passe alors par le canal de transvasement et chasse les gaz brûlés : c'est le balayage.

2<sup>ème</sup> temps :

L'échappement des gaz brûlés, poussés par l'air frais sous pression, continue, puis le piston en remontant obture d'abord la lumière T, puis la lumière E ; à partir de ce moment, il y a compression au-dessus du piston. Vers la fin de sa course ascendante, le piston découvre la lumière d'admission et le cycle recommence....

Il a suffi d'un seul tour de vilebrequin pour réaliser le cycle complet.

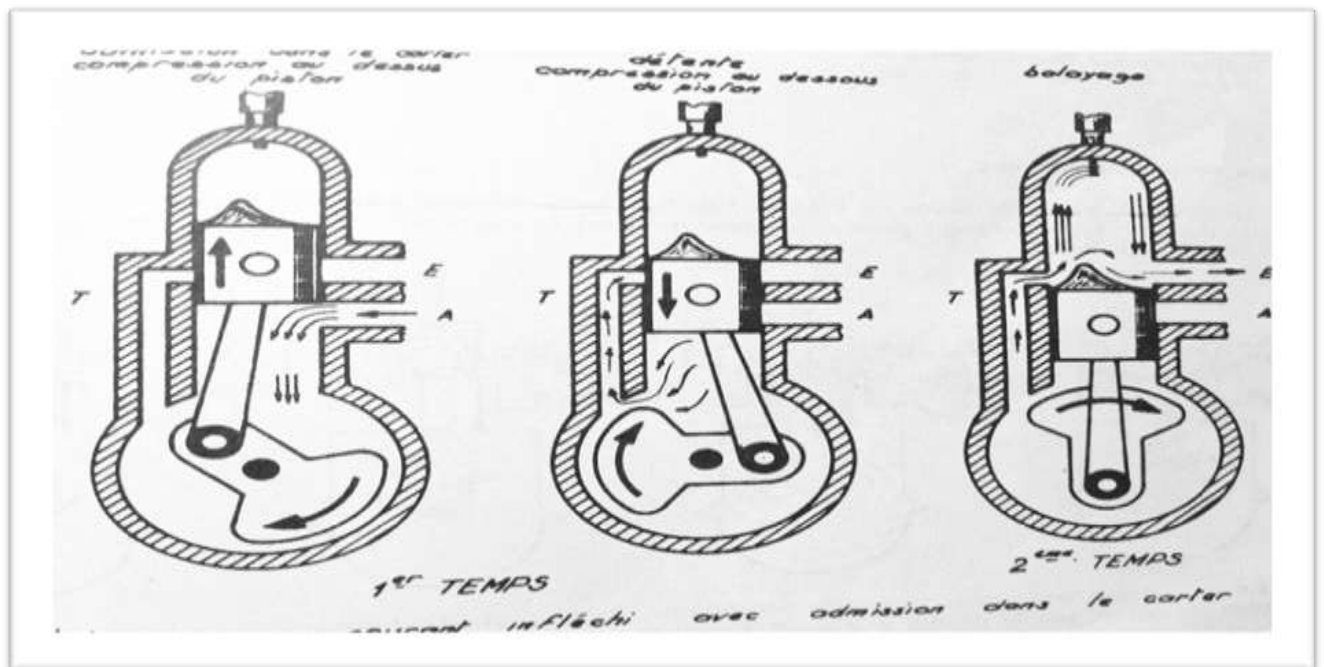


Figure.1.17 : les phase de cycle a deux temps.[1]

### 3.8. Les avantages et les inconvénients du moteur diesel :[1]

#### ✚ Avantages du moteur diesel :

- ✓ Rendement élevé avec une consommation de carburant plus faible par rapport aux moteurs à essence.
- ✓ Coût du carburant moins élevé que celui de l'essence.
- ✓ Réduction des risques d'incendie car les vapeurs inflammables ne sont produites que par le gasoil à des températures plus élevées.

#### ✚ Inconvénients du moteur diesel :

- ✓ Pressions importantes sur les organes du moteur nécessitant des matériaux résistants et des efforts considérables pour la construction.
- ✓ Températures élevées requises pour enflammer spontanément le carburant injecté, posant des défis de construction mécanique et de matériaux.
- ✓ Risque de surpression en cas de ratés d'inflammation, nécessitant des calculs précis pour les pièces et une construction lourde.
- ✓ Difficulté à assurer l'étanchéité entre le piston et le cylindre, nécessitant plusieurs segments sur les pistons.
- ✓ Maintenance spécialisée requise pour les injecteurs et la pompe d'injection.
- ✓ Délicat système de graissage en raison des pressions élevées transmises par le piston à tout l'équipage mobile.

#### **4. Conclusion :**

Le chapitre sur la généralité des moteurs diesel met en lumière l'ingéniosité et l'innovation qui ont caractérisé le développement de cette technologie. Des figures emblématiques telles que Rudolf Diesel a joué un rôle crucial dans l'évolution et l'amélioration des moteurs diesel, qui ont finalement révolutionné le monde de l'industrie et du transport.

Les composants des moteurs diesel mettent en évidence l'importance critique de chaque élément dans le fonctionnement global de cette technologie révolutionnaire. Des composants tels que le bloc-cylindres, les pistons, les soupapes, les injecteurs de carburant, et le système de refroidissement jouent tous un rôle crucial dans la création d'une combustion efficace et puissante.

---

## *Chapitre 2*

---

*Étude*

***DES SYSTEMES D'INJECTION  
ET LEURS PROBLÈMES***



### **2. Introduction :**

Ce chapitre a pour but d'étudier les systèmes d'injection des moteurs diesel et de connaître leurs problèmes afin de comprendre leur fonctionnement et d'identifier les éléments essentiels qui influent sur l'injection du carburant. Les systèmes d'injection sont cruciaux pour les moteurs diesel car ils déterminent comment et quand le carburant est délivré dans la chambre de combustion. Cette précision est essentielle pour la performance du moteur.

#### **2.1. Historique de système d'injection :**

L'histoire de l'injection dans les moteurs à explosion commence avec le brevet de Rudolph Diesel en 1893. Dans les années 1930, Mercedes-Benz et Bosch développent un système d'injection directe pour les moteurs d'avions, utilisé également pendant la Seconde Guerre mondiale par des avions américains et russes. Après-guerre, en 1949, l'injection indirecte est adoptée, notamment dans les courses automobiles comme les 500 miles d'Indianapolis. En 1954, Mercedes introduit l'injection directe dans les voitures de série avec la 300 SL, suivie par Georges Regembeau qui convertit une Citroën Traction Avant. Les années 1960 voient un intérêt croissant des constructeurs pour l'injection, avec Ferrari expérimentant l'injection directe en 1961. Bien que les premiers systèmes aient rencontré des problèmes de fiabilité, l'injection devient incontournable dans l'industrie automobile. Des systèmes perfectionnés comme l'injection Kugelfischer sont utilisés dans les années 1960 à 1980, notamment sur des modèles de Peugeot, BMW et Ford [8].

#### **2.2. Evolution :**

Dans l'évolution de l'injection, les premiers systèmes directs étaient limités aux poids lourds en raison de leur coût, de leur efficacité et du bruit de fonctionnement. Cependant, en 1987, Fiat a réussi à surmonter ces obstacles en développant une injection directe performante pour sa Fiat Croma turbo-diesel. Cette avancée a été si significative que Bosch a acquis la technologie, permettant à Volkswagen de l'appliquer avec succès à sa gamme TDI, ce qui a renforcé sa position de leader européen du Diesel et lui a fourni les moyens financiers pour acquérir d'autres marques telles que Seat et Skoda. [8].

Initialement utilisée sur les moteurs diesel, la technologie d'injection directe a été adaptée aux moteurs à essence par Mitsubishi, qui a introduit cette innovation sur la Mitsubishi Carisma

GDI en 1997. Cette technologie offre un dosage précis du carburant, une augmentation du taux de compression et une meilleure résistance au phénomène de cliquetis.

Le groupe VAG a également investi massivement dans l'injection directe pour les moteurs essence, en développant le système FSI (Fuel Stratified Injection), dans l'espoir de reproduire le succès marketing du TDI. Cette nouvelle génération d'injection directe est associée à une électronique de contrôle avancée, offrant une meilleure économie de carburant et des performances améliorées.

### **2.3.Fondements théoriques des systèmes d'injection :**

Le système d'injection est constitué schématiquement d'un réservoir de combustible, d'un élément filtrant, d'une pompe permettant de délivrer un certain débit de combustible à une pression suffisante, d'un élément doseur et d'un orifice d'injection permettant, sous l'effet de l'écoulement sous pression, de pulvériser le combustible [9]. Trois facteurs pilotent le développement des systèmes d'injection :

- La puissance
- La consommation
- La pollution.

L'injection de combustible dans les moteurs a pour objectif principal de vaporiser efficacement le combustible et de le doser précisément pour assurer une combustion optimale. Pour atteindre cet objectif, plusieurs éléments sont cruciaux : le débit de l'injecteur, le temps d'injection et l'efficacité de la vaporisation, qui dépend de la taille et de la vitesse des gouttes créées par l'injecteur. L'aspect temporel de la formation du mélange est moins critique pour les combustibles gazeux, où seule la fonction de dosage est requise. En revanche, pour les combustibles liquides, le système d'injection doit d'abord vaporiser le combustible en le pulvérisant ou en l'atomisant, créant ainsi une phase intermédiaire de liquide dispersé constituée de gouttes de petit diamètre. Ceci augmente la surface d'échange, favorisant une combustion plus complète et efficace.

### **2.4.Principes de fonctionnement des systèmes d'injections :**

Le combustible est aspiré au réservoir par une pompe à membrane qui le refoule à travers un filtre fin vers une pompe d'alimentation à palettes.

Cette pompe d'alimentation refoule le gasoil dans la chambre d'aspiration du « bloc hydraulique » avec, en dérivation, une soupape régulatrice qui maintient une pression précise en fonction

du régime et qui commande également le piston d'avance automatique. Sur le couvercle du régulateur, un orifice de retour calibré permet un balayage et un dégazage permanent du combustible.

Entre le point mort haut PMH et le point mort bas PMB, le piston décrit une fraction de circonférence égale au nombre de cylindres du moteur.

### 2.4.1. Arrivée du carburant :

Lorsque le piston distributeur arrive à son PMB, le canal d'arrivée du carburant de la tête hydraulique est toujours en face de l'une des rainures ou fentes d'admission du piston distributeur, c'est la phase arrivée du carburant.[11]

Au PMB, du carburant à la pression interne de pompe d'injection pénètre dans la chambre haute pression et dans l'alésage du piston de pompe par le canal d'arrivée et l'une des rainures d'admission.

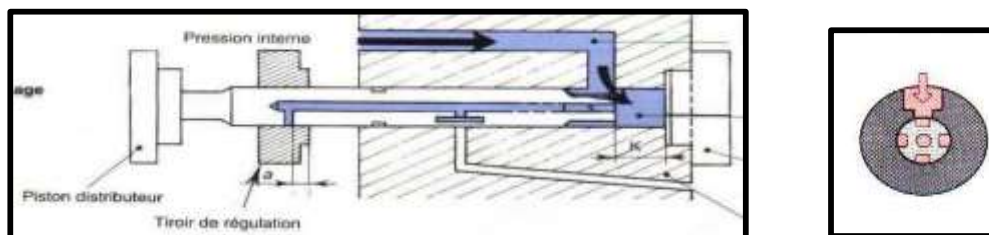


Figure 2.1 Remplissage [4].

### 2.4.2. Refoulement du carburant :

Lorsque le piston distributeur se déplace vers son PMH, il obture d'abord le canal d'arrivée du carburant de la tête hydraulique, provoque une montée en pression du carburant par suite de son mouvement puis vient placer la rainure de distribution en face d'un des canaux de refoulement de la tête hydraulique.[11]

A ce moment, la pression élevée qui règne dans la chambre haute pression ouvre la soupape ou clapet de refoulement de la tête hydraulique vers un des injecteurs via une conduite haute pression.

Le piston continue son mouvement vers son point mort haut en refoulant du carburant vers l'injecteur, cette phase pendant laquelle du carburant est refoulé, s'appelle course utile du piston distributeur.

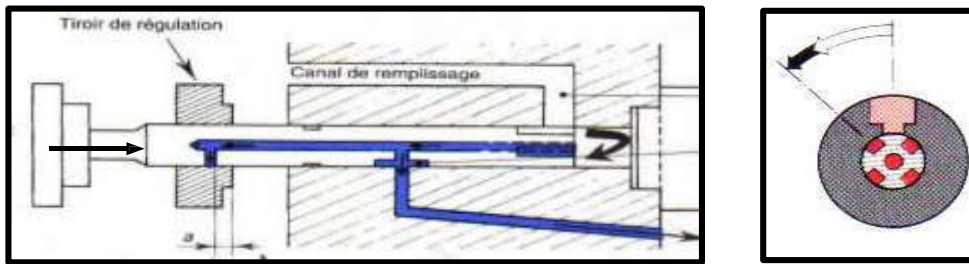


Figure 2.2 début d'injection. [4].

### 2.4.3. Fin de refoulement :

Continuant toujours son mouvement vers son point mort haut, à un moment donné, l'orifice de décharge (2) du piston distributeur va être découvert par la bague de régulation ce qui va mettre en communication la partie haute pression et la chambre intérieure de la pompe d'injection, la pression va diminuer et la soupape ou clapet de refoulement ferme la conduite haute pression, dès cet instant, l'injecteur ne reçoit plus de carburant et c'est la phase fine de refoulement.[11]

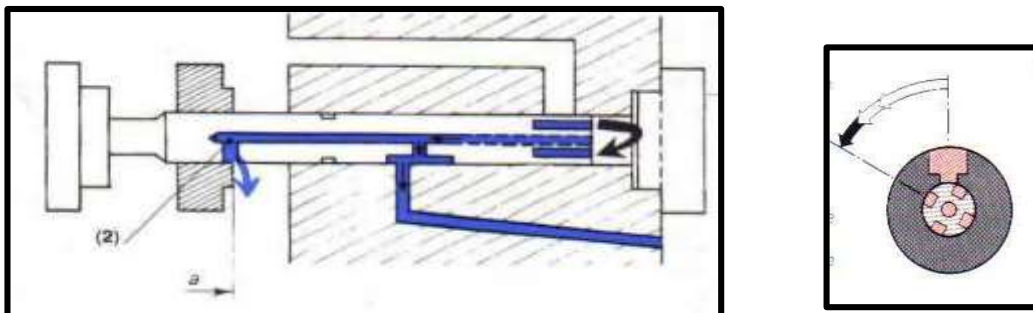


Figure 2.3 fin d'injection [4].

## 2.5. Types de systèmes d'injection :

Dans le monde actuel il existe trois types de moteurs Diesel :

### 2.5.1. Moteurs à injection indirect :

Dans un moteur à injection indirecte, le carburant n'est pas injecté directement dans la chambre de combustion principale, mais il est envoyé dans une petite chambre de turbulence en spirale (appelée aussi chambre de précombustion) où s'amorce en réalité la combustion voire figure 2.4.

L'inconvénient de ce système réside dans le fait que la chambre de turbulence est en fin de compte une annexe de la chambre de combustion, avec laquelle elle constitue un ensemble de forme peu propice à l'obtention d'une combustion réellement totale et régulière, la *figure 2-4* démontrant deux types de ces moteurs. [13]

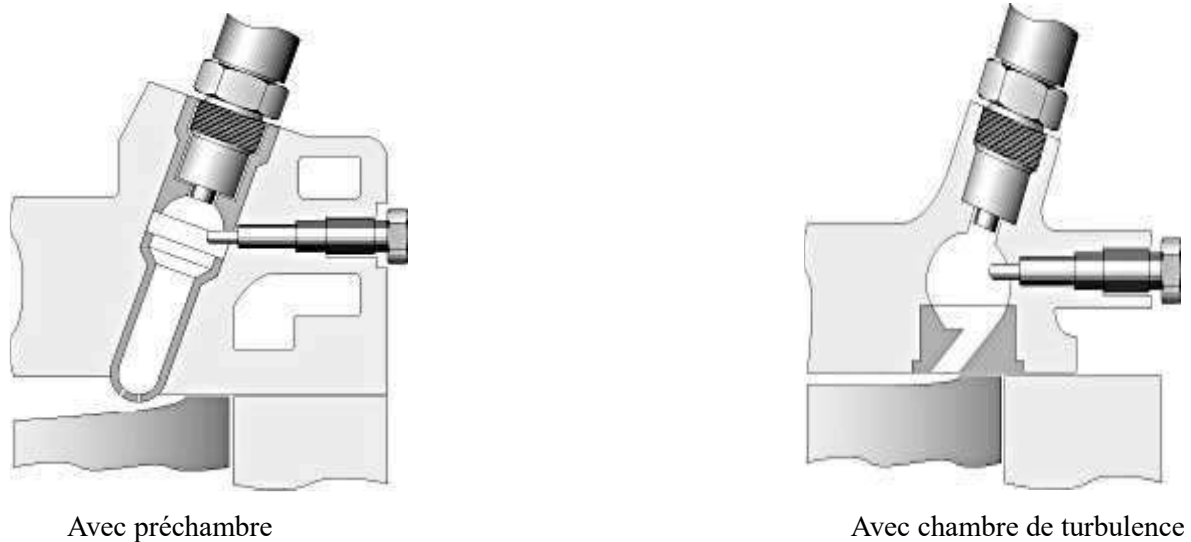


Figure 2.4 : Les structures des préchambres de combustion [13].

Dans ces deux cas, la combustion se déroule dans deux volumes séparés : une chambre, représentant 30 à 60% du volume total, qui reçoit l'injection du carburant et où s'amorce la combustion, et une chambre principale dans laquelle elle s'achève.

Ces véhicules sont équipés d'une pompe injection rotative HP (haute pression) semi-automatique (ou un peu d'électronique) qui distribue le carburant successivement à chaque cylindre en ouvrant les injecteurs les uns après les autres par la pression du gasoil qui est d'environ 130 bar.

Inconvénients :

- Le réglage de régime de ralenti.
- La pollution effectuée par cette série de moteur.
- La consommation élevée de gasoil.

### 2.5.2. Moteurs à injection directe

Le moteur à injection directe s'impose pour son rendement supérieur à ceux des moteurs à injection indirecte.

Le système d'injection Diesel contribue directement à la distribution du carburant qui détermine les caractéristiques de la combustion. Il a ainsi un impact évident sur la consommation de carburant ainsi que sur les émissions polluantes et sonores des moteurs.[10]

Dans les véhicules Diesel particuliers, les moteurs à injection directe ont supplanté, il y a quelques années, les moteurs à injection indirecte. Ces derniers présentent en effet deux inconvénients préjudiciables à leur rendement énergétique. D'une part, la combustion est initiée dans une chambre annexe, augmentant ainsi les pertes thermiques, et d'autre part, les gaz chauds passent de cette petite chambre au cylindre à travers un étroit canal, générateur de pertes de charge. Dans un moteur à injection directe, ces pertes thermomécaniques sont évitées car le carburant est introduit directement dans la chambre de combustion au-dessus du piston comme la figure 2-5 le montre.

Cette variation de pression d'injection rend difficile une maîtrise totale de la combustion.

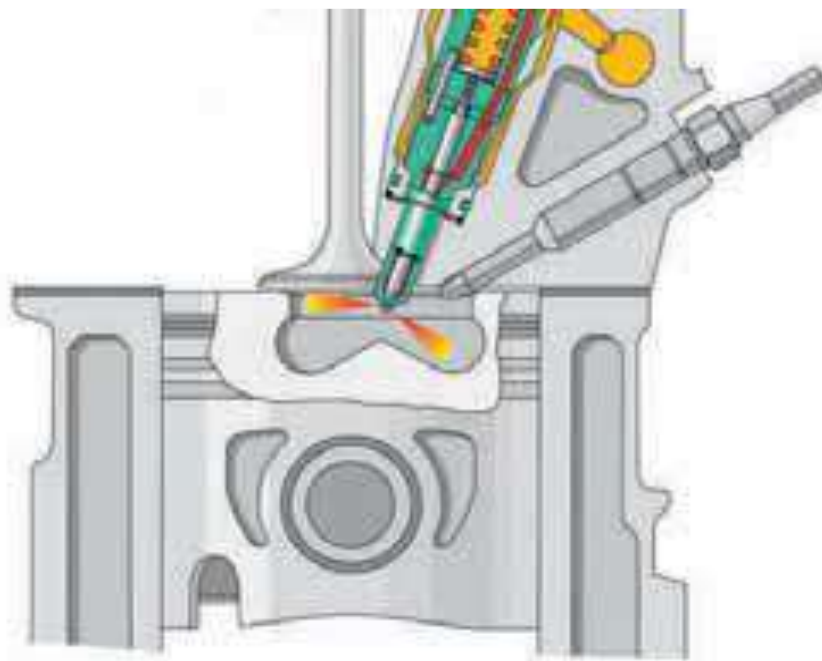


Figure 2.5 : L'injection directe.

La pulvérisation, le réchauffage et la vaporisation du carburant de même que le mélange avec l'air doit donc se dérouler le plus rapidement possible. La forme particulière du canal d'admission ainsi que la forme du bol du piston participent à la génération du mouvement tourbillonnaire de l'air à la fin du temps de compression.

Outre une bonne turbulence de l'air, l'introduction du carburant dans la chambre de combustion doit être bien répartie afin de garantir la rapidité du mélange. Le procédé d'injection

directe fait donc appel à un injecteur à trous multiples. L'angle des jets doit être optimisé en fonction de la forme du bol du piston.

### **Avantage :**

- Consommation plus faible, très fiables, moins de ruptures des joints de culasses.

### **Inconvénients :**

- Ils sont "assez bruyants" on les reconnaît à leur claquement particulier lié à la pression d'injection plus élevée et ils auraient eu du mal à remplir les conditions des lois anti-pollution futures (surtout les modèles sans turbo).

### **2.5.3. Moteur à rampe commune :**

Le système d'injection haute pression à rampe commune consiste à alimenter, à l'aide d'une pompe haute pression pilotée électroniquement, une rampe commune (soit *common-rail* en anglais) qui assure la fonction d'accumulateur du carburant. Cette rampe est connectée à des injecteurs qui assurent une pulvérisation très fine directement dans la chambre de combustion grâce à une pression comprise entre 1350 et 1400 bars (contre 900 bars pour une pompe d'injection normale). Cette pulvérisation très fine permet d'améliorer la combustion pour plus de détail. [10]

Cette faible quantité de carburant (1 à 4 mm<sup>3</sup>) permet de préparer, par une augmentation de la Température et de la pression dans la chambre de combustion, l'inflammation du combustible lors de l'injection principale.

Les véhicules équipés de filtres à particules présentent une phase de nettoyage qui nécessite une Post-injection, rendue possible grâce au pilotage des injecteurs par un calculateur électronique.

Le pilotage par une électronique numérique de tous les paramètres de l'injection permet d'optimiser le Fonctionnement du moteur

La réduction des émissions de rejets polluants est devenue une nécessité pour les constructeurs.

Le moteur Diesel à injection directe, alimenté par un système d'injection haute pression à gestion électronique, offre un rendement supérieur à tous les autres moteurs thermiques. Grâce à sa relative simplicité d'adaptation sur les moteurs existants, le système d'injection Diesel

haute pression à rampe commune constitue la solution actuelle la plus facilement industrialisable.

L'apparition de l'injection à rampe commune pour les moteurs Diesel a ouvert un nouvel espace de liberté aux motoristes. Les progrès sur le plan du confort, de la Consommation et de la diminution de la pollution en sont les conséquences directes.

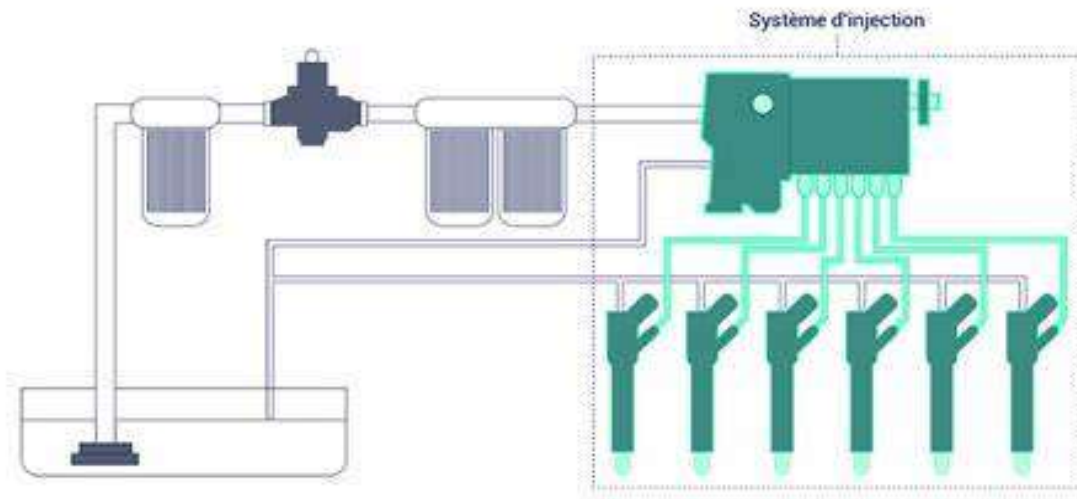


Figure 2.6 : système Common Rail [10].

### **Leurs avantages :**

Avec les deux systèmes ce sont des moteurs très puissants.

- Ils polluent moins surtout dans les phases transitoires d'accélération (tant que le calculateur fera bien son boulot).
- Les clients sont "captifs" on ne peut pas faire réparer n'importe où.

### **Inconvénients :**

- L'introduction de l'électronique peut provoquer une infinité des pannes provenant de système de commande électrique.

## **2.6. Composants principaux des systèmes d'injection :**

Les systèmes d'injection des moteurs diesel comprennent plusieurs composants clés qui travaillent ensemble pour assurer une distribution précise du carburant et une combustion efficace. Voici les principaux composants de ces systèmes :



### 2.6.1. Injecteurs :

Les injecteurs sont responsables de l'injection du carburant diesel dans les chambres de combustion des cylindres. Ils sont généralement situés directement dans la culasse du moteur et sont actionnés électriquement ou mécaniquement pour injecter le carburant à des pressions élevées dans la chambre de combustion. L'injecteur permet la pulvérisation du carburant dans la chambre de pression en dosant avec précision le débit et le point d'avance.

#### 2.6.1.1. Injecteur de type Common Rail :

L'injecteur de type Common Rail permet la pulvérisation du carburant dans la chambre de pression en dosant avec précision le débit et l'instant d'injection. L'injecteur est composé de deux parties (Figure 2.7) : [16]

- La partie supérieure est un dispositif à commande électrique qui permet le contrôle de l'aiguille.
- La partie inférieure est un injecteur à trous multiples, semblable aux injecteurs classiques montés sur les moteurs à injection directe.

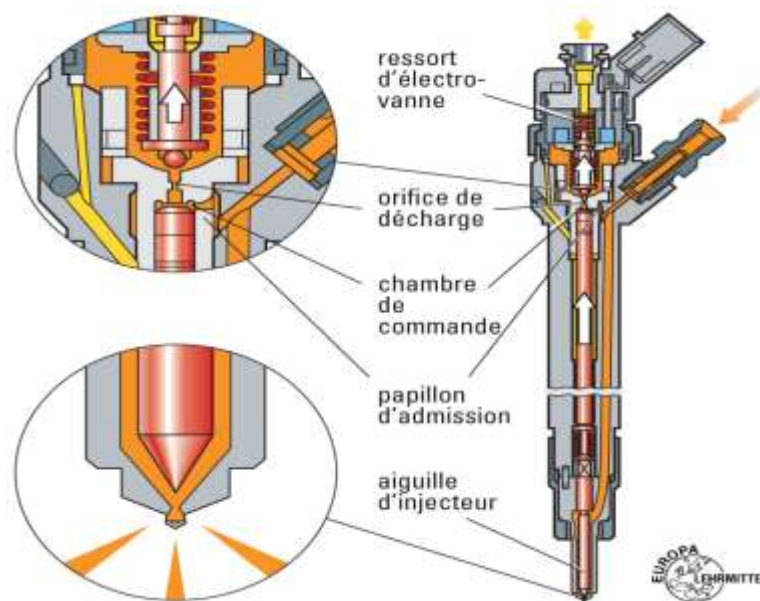


Figure 2.7 : L'injecteur Diesel à rampe Commun.

#### 2.6.1.2. Injecteur à sac et injecteur VCO :

Les injecteurs à sac possèdent une cavité, appelée sac, à la base de l'aiguille lorsque celle-ci repose sur son siège (Figure 2.8). L'augmentation de la contenance de ce sac dégrade les émissions d'hydrocarbures imbrûlés. En effet, à la fin de l'injection, lorsque l'aiguille est retombée, le fuel contenu dans ce volume se déverse dans la chambre de combustion. Ce carburant brûle très lentement et de manière incomplète. Cela crée des problèmes de pollution.

Pour pallier ce défaut, les équipementiers proposent l'injecteur VCO (Valve Covered Orifice) qui ne présente pas de sac : l'aiguille vient obstruer directement l'orifice débitant. Dans ce cas, pour des charges faibles et moyennes, l'aiguille n'est que partiellement levée. Les sprays sont alors très dissymétriques induisant une forte augmentation de formation de particules à l'échappement. En effet, la répartition de carburant dans la chambre étant changée, des zones très riches en fuel apparaissent, entraînant la formation de particules de suies.[16]

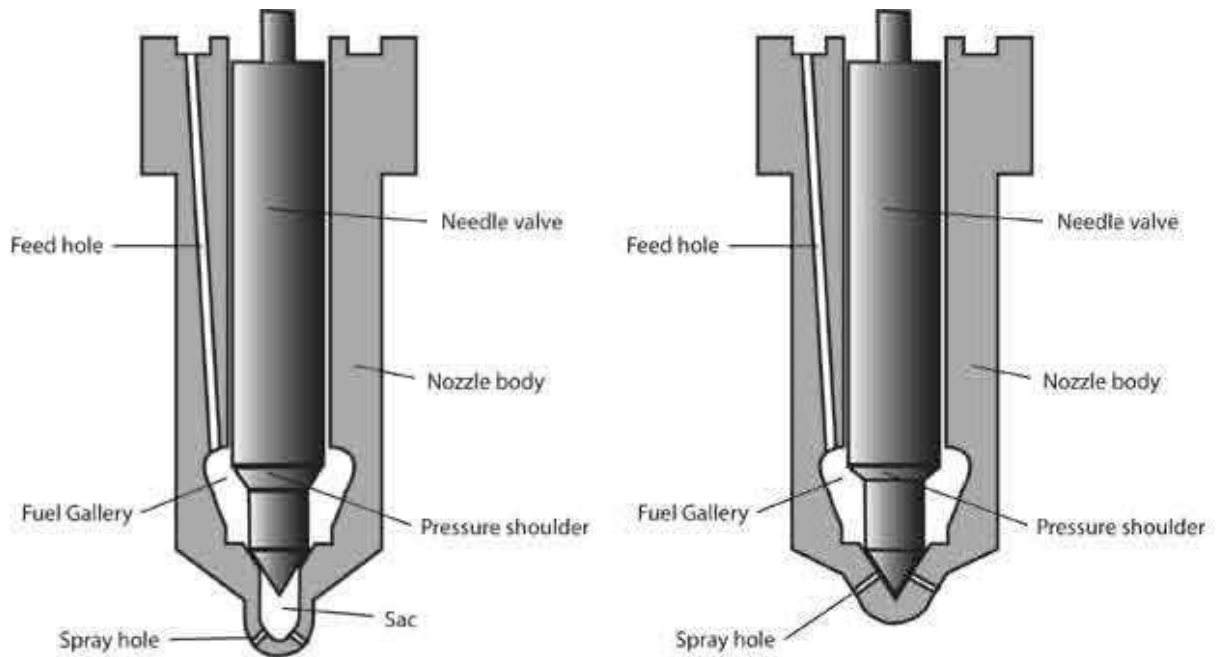


Figure 2.8- Injecteur à sac (à gauche) et injecteur VCO (à droite) [15].

### 2.6.2. Pompe à injection :

La pompe à injection est chargée de fournir le carburant diesel aux injecteurs à une pression élevée. Dans les systèmes d'injection diesel traditionnels, la pompe à injection est généralement une pompe mécanique à commande mécanique, mais dans les systèmes modernes, elle est souvent une pompe à haute pression contrôlée électroniquement. La pompe haute pression fonctionne en deux phases : [12]

- Phase remplissage :

Pendant la phase de remplissage, la pression de transfert a une valeur suffisante pour écarter les pistons plongeurs. L'espace mort entre les deux pistons permet le remplissage [12]

- Phase refoulement :

Lors de la rotation de l'anneau, les galets rencontrent le profil de came. Les pistons se rapproche et comprime ainsi sous forte pression le carburant. Le clapet de refoulement s'ouvre dès que la pression de pompe est supérieure à la pression de rail. [12]

### **2.6.2.1. Type de pompes d'injection :**

Il existe deux principaux types de pompes d'injection pour les moteurs diesel : les pompes d'injection mécaniques et les pompes d'injection électroniques.

#### **2.6.2.1.1. Pompe d'injection mécanique :**

- Ces pompes sont actionnées mécaniquement par le moteur lui-même, généralement via un arbre à cames.
- Elles fonctionnent en pompant du carburant diesel à haute pression dans les cylindres du moteur, au moment précis où cela est nécessaire pour l'injection.
- Les pompes d'injection mécaniques étaient plus courantes dans les anciens moteurs diesel et sont encore utilisées dans certains moteurs plus simples et dans des applications spécifiques. [14]

#### **2.6.2.1.1.1. Pompe d'injection rotative (Rotary Injection Pump) :**

- Ces pompes étaient populaires dans les moteurs diesel plus anciens, mais sont moins courantes de nos jours en raison de l'évolution vers des systèmes plus avancés comme la rampe commune.
- Les pompes d'injection rotatives utilisent un rotor tournant pour comprimer le carburant et le délivrer à haute pression aux injecteurs. Elles sont généralement mécaniques, mais des versions électroniques ont également été développées. [8]

Nous citons quelques exemples des pompes injections utilisées actuellement :

#### **2.6.2.1.2. Pompe d'injection électronique :**

- Ces pompes intègrent des composants électroniques pour contrôler et réguler précisément l'injection de carburant dans les cylindres du moteur.

- Elles utilisent des capteurs pour mesurer divers paramètres tels que la pression, la température, la charge du moteur, etc., et ajustent ensuite la quantité de carburant injectée en fonction de ces données.
- Les pompes d'injection électroniques offrent généralement une meilleure efficacité énergétique, des émissions réduites et une gestion plus précise du moteur par rapport aux pompes mécaniques.
- Elles sont devenues plus courantes dans les moteurs diesel modernes en raison de leur capacité à répondre aux normes d'émissions plus strictes et à optimiser les performances du moteur. [14]

### **2.6.2.1.2.1. Pompe à rampe commune (Common Rail) :**

- Ce système est largement répandu dans les moteurs diesel modernes. Il utilise une pompe haute pression pour accumuler le carburant à haute pression dans un "rail" commun à tous les injecteurs.
- Les injecteurs contrôlés électroniquement sont connectés au rail commun et sont chargés de distribuer le carburant dans les chambres de combustion à des pressions élevées et à des moments précis, selon les besoins du moteur.
- Les systèmes à rampe commune offrent un contrôle très précis de l'injection de carburant, ce qui permet une combustion plus efficace et une réduction des émissions. [15]

### **2.6.2.2. La pompe de transfert :**

La pompe de transfert est une pompe à palettes. Elle aspire le gasoil dans le réservoir à travers le filtre.

Elle gave alors la pompe haute pression sous une pression de transfert d'environ 6 bar.

La pompe de transfert est entraînée par le même arbre que la pompe HP (Haute Pression) et donc par la courroie de distribution. Un clapet de régulation permet de maintenir la pression de transfert à une valeur quasi constante (environ 6 bar) sur toute la plage de fonctionnement du moteur en renvoyant une partie du carburant à l'entrée de la pompe.

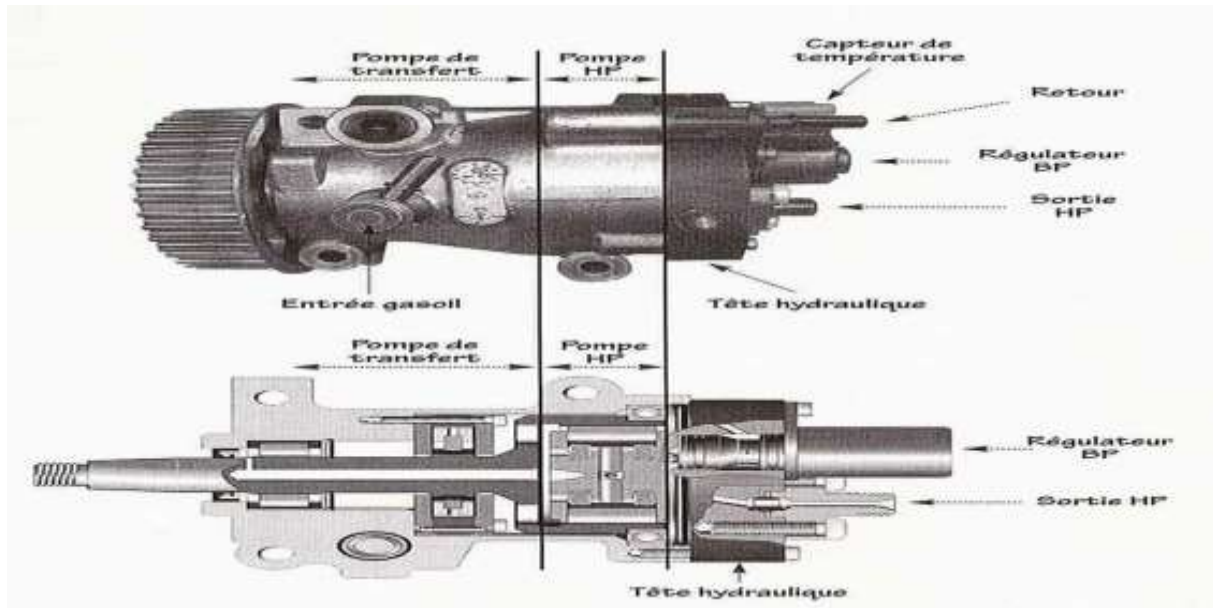


Figure 2.9 : Pompe haute pression et pompe de transfert [10]

### 2.6.3. Calculateur moteur (UCE) :

Le calculateur moteur contrôle le fonctionnement du système d'injection diesel en fonction des données fournies par différents capteurs tels que le capteur de pression de rail, le capteur de position de vilebrequin, le capteur de température du moteur, etc. Il détermine le moment et la quantité d'injection de carburant nécessaires pour optimiser les performances du moteur.

### 2.6.4. Filtre à carburant :

Le filtre à carburant est utilisé pour éliminer les impuretés et les contaminants présents dans le carburant diesel avant qu'il n'atteigne la pompe à injection et les injecteurs. Cela garantit un fonctionnement optimal du système d'injection et prolonge la durée de vie des composants.

### 2.6.5. Vanne de régulation de pression (Pressure Control Valve) :

Cette vanne contrôle la pression du carburant dans la rampe commune en ajustant le débit de retour du carburant vers le réservoir. Cela permet de maintenir une pression constante dans la rampe commune, ce qui est essentiel pour un fonctionnement correct du système d'injection.

Ensemble, ces composants travaillent en harmonie pour garantir une injection précise du carburant diesel dans les cylindres du moteur, ce qui permet une combustion efficace et des performances optimales du moteur.

### 2.7. Dispositif de démarrage à froid :

Les moteurs diesel peuvent être difficiles à démarrer par temps froid en raison de la densité accrue du carburant diesel à basse température. Pour résoudre ce problème, plusieurs dispositifs de démarrage à froid ont été développés. Voici quelques-uns des dispositifs les plus courants :

- **Bougies de préchauffage :**

Afin de faciliter le démarrage du moteur à basse température, on utilise des bougies de préchauffage pour augmenter la température dans les chambres de combustion. On peut également utiliser les bougies de préchauffage quand le moteur tourne à froid afin de réduire les émissions gazeuses nocives, l'apparition de fumées d'échappement bleues et le cliquetis (post chauffage).

Le préchauffage et le post chauffage sont parfois commandés par un boîtier électronique des bougies de préchauffage, mais sur les systèmes modernes ce contrôle est en général assuré par le calculateur de gestion moteur.

- 1-Borne
- 2-Isolation
- 3-Boîtier
- 4-Joint
- 5-Bobinage de chauffage et de régulation
- 6-Tube incandescent
- 7-Poudre isolante.

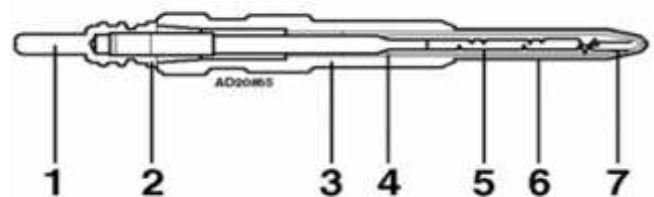


Figure 2.10 : Bougie de préchauffage.

- **Fonctionnement :**

Une bougie de préchauffage comprend des bobinages de chauffage et de régulation noyés dans une poudre d'oxyde de magnésium. Quand on applique une tension sur la borne le courant passe dans les éléments de chauffage et la température monte rapidement. Le courant circule également dans les bobinages de régulation ce qui provoque également un réchauffement mais

plus lent. La résistance augmente au fur et à mesure que la température de l'extrémité de la bougie augmente (jusqu'à environ 1200°C).

Quand le moteur est froid, les bougies de préchauffages peuvent rester actives (post chauffage) même après le démarrage, jusqu'à ce qu'une certaine température soit atteinte ou pendant un temps déterminé, en général 180 secondes.

- **Remarque :**

Les bougies sont de deux types :

- Bougies unipolaires (les seules utilisées à l'heure actuelle) - Bougies bipolaires (anciens montages).

### **2.8. Les Problèmes courants des systèmes d'injection diesel :**

#### **2.8.1. Généralités :**

Le bon fonctionnement des moteurs Diesel actuels dépend, en grande partie, du très bon état des organes d'injection.

Pour obtenir un rendement optimal, il est non seulement primordial que l'alimentation du moteur en combustible soit minutieusement dosée et proportionnée à l'effort à fournir, mais il faut également que chaque injection de combustible se produise dans les meilleures conditions, parmi elle nous citerons

- La pression, la température et la turbulence de l'air du milieu dans lequel on injecte,
- La vitesse de pénétration du jet à travers la masse d'air comprimé

Tout le combustible injecté ne sera brûlé complètement, sans trace de résidu, donc sans fumée à l'échappement, que si tout le mécanisme d'injection fonctionne correctement

La quantité de carburant et la durée exacte de l'injection sont déterminées par la vitesse du moteur et les conditions de charge de moteur, et elles sont contrôlées par l'accélération.

L'accélérateur qui contrôle la quantité d'air qui pénètre dans le cylindre et aussi, relie à un mécanisme de commande qui contrôle le débit de la pompe à haute pression.

#### **2.8.2. La mauvaise qualité de carburant :**

La qualité du carburant diesel peut avoir un impact significatif sur le fonctionnement du système d'injection en affectant la propreté du carburant, sa capacité lubrifiante, sa composition chimique et sa stabilité.

### 2.8.3. Filtre à gasoil encrassé :

Le filtre à gasoil, également connu sous le nom de filtre à carburant, joue un rôle essentiel en filtrant les particules et les saletés présentes dans le gasoil ou l'essence de votre voiture. Cependant, il est sujet à l'encrassement, ce qui peut entraîner divers problèmes. De plus, il est recommandé de le remplacer tous les 15 000 à 20 000 kilomètres environ.



Figure 2.11 : Filtre à gasoil encrassé et neuf.

### 2.8.4. Panne de l'électrovanne :

Si l'électrovanne n'est pas alimentée correctement en électricité, elle ne pourra pas fonctionner correctement. Le problème d'alimentation électrique peut venir d'un faisceau électrique défaillant ou un problème de relais électrique. L'électrovanne c'est l'élément le plus important pour l'ouverture et la fermeture de circuit d'injection (fonctionnement et l'arrêt du moteur).



Figure 2.12 : Électrovanne.



### **2.8.5. Fuites des joints des injecteurs :**

Les fuites de joints d'injecteur peuvent être causées par plusieurs facteurs, notamment l'usure normale, les dommages mécaniques, les températures extrêmes, l'utilisation de carburants de mauvaise qualité ou contaminés, ou même des problèmes liés à la conception ou à la fabrication des injecteurs eux-mêmes.



Figure 2.13 : Fuite des joints des injecteurs

Il est important de reconnaître les symptômes d'une fuite de joint d'injecteur, tels que des ratés de moteur, une perte de puissance, une consommation de carburant accrue, des émissions de fumée excessives, des odeurs de carburant dans ou autour du véhicule, ou des fuites visibles de carburant près des injecteurs

### **2.8.6. Encrassement partiel des injecteurs :**

On peut aussi avoir un problème d'encrassement partiel de l'injecteur. L'encrassement peut être causé par des impuretés dans le combustible qui bloquent les orifices de pulvérisation ou encore par des injecteurs qui laissent entrer les gaz chauds qui causent la formation de calamine. La surchauffe de la buse de l'injecteur peut aussi causer des dépôts de calamine. Il peut se produire des coups de bélier dans les conduites montées entre la pompe d'injection et l'injecteur, ce qui peut entraîner le bruit de ces conduites.

### **2.8.7. Fuite dans le circuit d'injection :**

La fuite dans la tuyauterie d'injection de carburant est un problème sérieux dans les véhicules à moteur, qu'il s'agisse de voitures, de camions ou d'autres types de véhicules. Cette fuite peut être due à plusieurs raisons, notamment l'usure des joints, des fissures dans les tuyaux ou des défauts dans les composants de l'injection de carburant.

L'impact de cette fuite peut être assez significatif. Premièrement, cela peut affecter les performances du moteur en perturbant le mélange air-carburant nécessaire à la combustion efficace. Cela peut entraîner une perte de puissance, une augmentation de la consommation de carburant et des émissions polluantes plus élevées. De plus, les fuites de carburant représentent également un risque d'incendie, surtout si elles se produisent à proximité de sources de chaleur ou d'étincelles.

### **2.8.8. Usure des injecteurs :[11]**

Les injecteurs, essentiels pour la pulvérisation du carburant dans les chambres de combustion du moteur, s'usent avec le temps. Leur dysfonctionnement se manifeste par des symptômes tels que surconsommation de carburant, émissions de fumée noire, difficultés de démarrage, odeur de carburant dans l'habitacle, perte de puissance, à-coups lors des accélérations et fuites de carburant.

Les risques associés à des injecteurs usés incluent un encrassement prématuré du moteur, une pollution accrue, une détérioration d'autres composants du moteur et une probabilité de panne.

### **2.8.9. Problèmes électroniques dans les systèmes d'injection diesel :**

Les systèmes d'injection diesel modernes reposent sur des composants électroniques cruciaux tels que les capteurs, les actionneurs et les unités de contrôle électronique (UCE) pour réguler le processus d'injection de carburant. Les problèmes électroniques peuvent entraîner une série de symptômes, notamment l'allumage du témoin de contrôle moteur, des démarrages difficiles, une performance moteur irrégulière, une consommation excessive de carburant, des émissions polluantes élevées et des codes d'erreur spécifiques.

Ces problèmes peuvent être causés par des capteurs défectueux, des actionneurs en panne, des problèmes de câblage, des défaillances de l'ECU, des interférences électromagnétiques et des dommages dus à l'humidité et à la corrosion. Une compréhension approfondie de ces

causes est essentielle pour diagnostiquer et résoudre efficacement les problèmes électroniques, garantissant ainsi le bon fonctionnement du moteur diesel.

### **2.8.10. Problème de synchronisation :**

Les problèmes de synchronisation dans les systèmes d'injection diesel peuvent entraîner une série de symptômes préjudiciables au bon fonctionnement du moteur. La perte de puissance, les ratés du moteur, les démarrages difficiles, une augmentation de la consommation de carburant et des émissions accrues sont autant de signes indiquant une synchronisation inadéquate. Ces problèmes peuvent être causés par divers facteurs tels qu'une courroie de distribution défectueuse, des poulies endommagées, un tendeur de courroie défaillant, des problèmes avec la chaîne de distribution ou des capteurs de position défaillants pour le vilebrequin et l'arbre à cames. Il est essentiel de diagnostiquer et de résoudre rapidement ces problèmes pour maintenir la performance et l'efficacité du moteur diesel.

### **2.8.11. Défaillance de la pompe à haute pression :**

Les pompes haute pression sont cruciales pour les systèmes d'injection diesel modernes, car elles fournissent le carburant aux injecteurs à des pressions très élevées, assurant une combustion efficace. Cependant, elles peuvent faillir, entraînant divers symptômes tels que des démarrages difficiles ou impossibles, une perte de puissance, des ratés du moteur, une augmentation de la consommation de carburant, des émissions polluantes accrues et des bruits inhabituels provenant de la pompe. Ces défaillances peuvent être causées par l'usure mécanique des composants internes, la contamination du carburant par des particules ou de l'eau, des problèmes de lubrification dus à un carburant de mauvaise qualité, la surchauffe qui endommage les composants internes, ou, plus rarement, des défauts de fabrication. Ainsi, l'entretien régulier de la pompe et l'utilisation de carburant de haute qualité sont essentiels pour maintenir les performances du moteur et prévenir ces problèmes.

### **2.8.12. Problème de pression de rail commune :**

Le système d'injection commun rail, Ce système se compose de plusieurs éléments clés : un rail, des injecteurs et une pompe à injection de carburant. Cependant, divers problèmes peuvent affecter la pression du rail commun. La défaillance de la pompe haute pression peut entraîner une pression insuffisante ou irrégulière. Des capteurs défectueux, tels que ceux de

pression et de température, ainsi que le calculateur électronique, peuvent perturber la régulation de la pression. Des fuites de carburant au niveau des joints, des connexions ou des injecteurs peuvent provoquer une perte de pression. Les problèmes de la pompe à carburant basse pression peuvent empêcher l'approvisionnement suffisant en carburant à la pompe haute pression. Enfin, la contamination du carburant par des particules, de l'eau ou d'autres contaminants peut obstruer les composants du système d'injection, affectant la pression et la distribution du carburant.

### **2.8.13. Problème lié aux capteurs et actionneurs :**

Les problèmes liés aux capteurs et actionneurs dans les systèmes d'injection diesel peuvent causer des dysfonctionnements du moteur. Les capteurs, comme ceux de pression et de température, peuvent fournir des données incorrectes, affectant la combustion et la puissance du moteur. Les actionneurs, tels que les vannes EGR et les électrovannes de carburant, peuvent ne pas fonctionner correctement, entraînant une suralimentation ou une sous-alimentation. Les problèmes de câblage et de connecteurs, les défaillances du calculateur moteur, les interférences électromagnétiques et la corrosion peuvent également affecter le bon fonctionnement des composants électroniques. Il est important de diagnostiquer et de résoudre rapidement ces problèmes pour maintenir les performances du moteur.

## **2.9. Conclusion :**

Le chapitre sur l'étude des systèmes d'injection et de leurs problèmes offre un aperçu approfondi des défis techniques associés à cette composante essentielle des moteurs diesel. En examinant les différents types de systèmes d'injection, tels que les systèmes d'injection directe et indirecte, ainsi que les injecteurs de carburant, ce chapitre met en lumière la complexité de ces technologies et les défis rencontrés dans leur conception et leur maintenance.

En explorant les problèmes courants rencontrés avec les systèmes d'injection, tels que l'encrassement des injecteurs, les fuites de carburant et les dysfonctionnements électriques.

En conclusion, ce chapitre met en évidence l'importance critique des systèmes d'injection dans les moteurs diesel, tout en soulignant les défis techniques associées à ces composants vitaux.

---

## Chapitre 3

---

# Solutions et perspectives pour améliorer les systèmes d'injection diesel

### 3. Introduction :

Les systèmes d'injection diesel sont essentiels pour le bon fonctionnement des moteurs, mais ils peuvent rencontrer divers problèmes comme l'encrassement des injecteurs et l'usure des composants. Ce chapitre présente les solutions actuelles pour résoudre ces problèmes et explore les perspectives d'amélioration des systèmes d'injection diesel, en mettant l'accent sur les technologies avancées et les innovations visant à améliorer leur performance, leur fiabilité et leur durabilité.

### 3.1. Solution pour les défaillances des systèmes d'injections :

#### 3.1.1. La mauvaise qualité du carburant :

**La solution :**

- C'est d'utiliser un carburant diesel de haute qualité et de suivre les recommandations du fabricant du moteur diesel en matière de carburant.
- Optez pour des carburants déjà enrichis d'additifs spécifiques conçus pour améliorer la qualité du carburant, prévenir la formation de dépôts et protéger le système d'injection.
- Effectuez un entretien régulier du système d'alimentation en carburant et vérifiez qu'il n'y a pas d'eau ou de contaminants dans le réservoir.

#### 3.1.2. Filtre a gasoil encrassé :

**La solution :**

- La plus courante et la plus efficace est de remplacer le filtre à gasoil encrassé par un nouveau filtre.
- Si le filtre à gasoil est équipé d'une valve de vidange, vous pouvez essayer de vidanger l'eau et les impuretés accumulées dans le filtre.

#### 3.1.3. Panne de l'électrovanne :

**La solution :**

- ✓ Utilisez un outil de diagnostic pour identifier les codes d'erreur spécifiques aux électrovannes.
- ✓ Inspectez et nettoyez les connexions électriques, en resserrant les connexions lâches et en éliminant la corrosion.
- ✓ Vérifiez que l'électrovanne reçoit une tension adéquate avec un voltmètre et réparez ou remplacez les câbles ou fusibles défectueux.

- ✓ Nettoyez l'électrovanne pour éliminer les dépôts de carburant.
- ✓ Remplacez l'électrovanne si elle est défectueuse ou endommagée.
- ✓ Remplacez le filtre à carburant pour assurer un débit de carburant propre.
- ✓ Faites diagnostiquer et, si nécessaire, remplacez le module de commande du moteur (ECU).
- ✓ Effectuez une maintenance préventive régulière selon les recommandations du fabricant.

### **3.1.4. Fuite des joints des injecteurs :**

#### **La solution :**

- Remplacez les joints défectueux par des joints neufs de haute qualité. Utilisez des pièces recommandées par le fabricant pour garantir une bonne compatibilité et une longue durée de vie.
- Avant d'installer de nouveaux joints, inspectez et nettoyez soigneusement les sièges d'injecteur pour éliminer toute saleté, carbone ou dépôt qui pourrait compromettre l'étanchéité.
- Utilisez des joints fabriqués à partir de matériaux résistants à la chaleur et aux produits chimiques pour assurer une meilleure durabilité, surtout dans des conditions de températures extrêmes.
- Assurez-vous que les injecteurs sont correctement alignés et installés.
- Utilisez toujours du carburant de haute qualité et sans contaminants.
- Inspectez les injecteurs pour détecter tout dommage mécanique qui pourrait affecter l'étanchéité des joints.
- Assurez-vous que les systèmes de refroidissement et de lubrification du moteur fonctionnent correctement pour éviter des températures excessives qui peuvent accélérer l'usure des joints.

### **3.1.5. Encrassement partiel de l'injecteur :**

#### **La solution :**

- Ajoutez des additifs spécifiques au carburant pour dissoudre les dépôts de carbone et autres impuretés dans les injecteurs.
- Utilisez un kit de nettoyage d'injecteur par injection directe pour injecter un nettoyant puissant directement dans le système de carburant.

- Faites nettoyer les injecteurs par ultrasons chez un professionnel pour éliminer les dépôts sans les endommager.
- Remplacez régulièrement les filtres à carburant pour prévenir l'accumulation de contaminants.
- Utilisez du carburant de haute qualité pour réduire la quantité d'impuretés et de dépôts dans les injecteurs.
- Effectuez une maintenance régulière du moteur, incluant des nettoyages périodiques des injecteurs.
- Faites vérifier régulièrement le système d'injection par un professionnel pour assurer son bon fonctionnement

### **3.1.6. Usure des injecteurs :**

#### **La solution :**

- Utilisez des additifs qui ne sont pas agressifs pour les injecteurs.
- Nettoyez régulièrement les injecteurs pour éviter l'accumulation de dépôts.
- Assurez-vous que la pression de carburant est dans les limites spécifiées par le fabricant et ajustez si nécessaire.
- Inspectez régulièrement les injecteurs pour détecter tout signe d'usure ou de dommage et remplacez les injecteurs défectueux.
- Utilisation de lubrifiants appropriés
- Éviter de rouler avec un réservoir presque vide
- Remplacer les injecteurs entre 150 000 et 200 000 kilomètres.

### **3.1.7. Fuite dans le circuit d'injection :**

#### **La solution :**

- Effectuer des inspections régulières du système d'injection de carburant pour détecter et réparer les signes d'usure ou de détérioration des joints et des tuyaux avant qu'ils ne provoquent des fuites.



- Remplacer immédiatement les joints usés, les tuyaux fissurés ou tout autre composant défectueux du système d'injection pour prévenir les fuites de carburant.
- Utiliser des pièces de rechange de haute qualité spécifiées par le fabricant du véhicule pour assurer une durabilité et une fiabilité optimales du système d'injection.
- Après toute réparation ou remplacement de pièces, vérifier minutieusement l'étanchéité du système d'injection pour s'assurer qu'il n'y a pas de fuites.
- Surveiller régulièrement la pression du carburant dans le système d'injection. Une pression anormale peut indiquer des problèmes potentiels dans le circuit d'injection, y compris des fuites.

### **3.1.8. Problèmes électroniques dans les systèmes d'injection diesel :**

#### **La solution :**

- Utiliser des outils de diagnostic appropriés pour lire les codes d'erreur et identifier les composants défectueux.
- Effectuer des tests approfondis sur les capteurs, les actionneurs et l'ECU pour confirmer les défaillances.
- Remplacer les capteurs, actionneurs ou ECU défectueux par des pièces de rechange de haute qualité spécifiées par le fabricant.
- S'assurer que les nouveaux composants sont correctement calibrés et programmés.
- Inspecter régulièrement les faisceaux de câbles pour détecter des signes de dommages ou de corrosion.
- Réparer ou remplacer les câbles et les connexions défectueux pour assurer une transmission correcte des signaux.
- Utiliser des composants et des connexions étanches pour protéger contre l'humidité.
- Appliquer des produits anti-corrosion sur les connexions électriques pour prolonger leur durée de vie.
- Installer les mises à jour de logiciel fournies par le fabricant pour corriger les bogues et améliorer la performance.
- Reprogrammer l'ECU si nécessaire pour s'assurer qu'il fonctionne avec les dernières spécifications.
- Utiliser des câbles blindés et des filtres pour réduire les interférences électromagnétiques.
- Éloigner les composants électroniques sensibles des sources potentielles d'interférences.

- Vérifie la valeur de la tension réguliers par l'alternateur.

### **3.1.9. Problème de synchronisation :**

#### **La solution :**

- Examiner attentivement la courroie de distribution, les poulies, les tendeurs et les chaînes de distribution, et les remplacer si nécessaire.
- Effectuer un réglage minutieux de la synchronisation du moteur en suivant les spécifications du fabricant.
- Utiliser des outils de diagnostic avancés pour détecter les problèmes avec les capteurs de position du vilebrequin et de l'arbre à cames, et les réparer ou les remplacer selon les besoins.
- Effectuer des contrôles réguliers de la courroie de distribution et des autres composants de synchronisation pour prévenir les problèmes futurs.
- Suivre les recommandations du fabricant concernant le remplacement périodique des courroies de distribution et des composants associés pour maintenir une synchronisation correcte du moteur.

### **3.1.10. Défaillance de la pompe à haute pression :**

#### **La solution :**

- Surveillance des symptômes :
- Remplacement par une pompe neuve :
- Maintenir des températures de fonctionnement appropriées
- Entretien régulier et prévention.

### **3.1.11. Problème de pression de rail commune :**

#### **La solution :**

- Les capteurs de pression et de température du rail commun jouent un rôle crucial. Si ces capteurs sont défectueux, remplacez-les pour rétablir un fonctionnement correct.
- Inspection et réparation des fuites
- Si de l'air s'est infiltré dans le système d'injection, purgez-le pour rétablir une pression stable et adéquate.
- Effectuez des diagnostics réguliers avec des outils spécialisés pour détecter les problèmes potentiels avant qu'ils ne deviennent graves.

### **3.1.12. Problème lié aux capteurs et actionneurs :**

#### **La solution :**

- Utiliser des outils de diagnostic avancés pour identifier précisément les capteurs ou actionneurs défectueux.
- Remplacer les capteurs ou actionneurs défectueux par des pièces de rechange de qualité, recommandées par le fabricant.
- Inspecter soigneusement le câblage et les connecteurs pour détecter tout dommage, corrosion ou mauvais contact. Effectuer les réparations nécessaires.
- Pour les capteurs et actionneurs qui peuvent être recalibrés, suivre les procédures spécifiques du fabricant pour assurer une précision optimale.
- Installer des blindages ou des filtres pour réduire les interférences électromagnétiques qui pourraient perturber les signaux des capteurs et actionneurs.
- Effectuer des inspections et des entretiens réguliers du système d'injection pour détecter et prévenir les problèmes potentiels avant qu'ils ne deviennent graves.
- Utiliser des pièces de rechange de haute qualité et respectant les spécifications du fabricant pour garantir la fiabilité et la durabilité du système d'injection.

### **3.2. Perspectives pour améliorer les systèmes d'injection diesel :**

Les systèmes d'injection diesel jouent un rôle crucial dans l'optimisation des performances des moteurs, la réduction des émissions polluantes et l'amélioration de l'efficacité énergétique. Voici quelques perspectives d'amélioration pour ces systèmes, basées sur les tendances technologiques et les exigences environnementales actuelles.

#### **3.2.1. Augmentation de la Pression d'Injection :**

L'augmentation de la pression d'injection dans les moteurs diesel est une stratégie avancée visant à améliorer la combustion du carburant. Les systèmes d'injection à très haute pression, allant jusqu'à 3000 bars et au-delà, permettent une atomisation plus fine du carburant, ce qui se traduit par une combustion plus complète et plus efficace. Cette approche présente de nombreux avantages, mais elle implique également des défis techniques importants.

##### **3.2.1.1. Avantages de l'Augmentation de la Pression d'Injection :**

###### **❖ Réduction des Émissions Polluantes :**

Une pression d'injection plus élevée permet une atomisation plus fine du carburant. Les gouttelettes de carburant plus petites se mélangent mieux avec l'air, favorisant une combustion plus complète. Cela réduit les émissions de particules et de NOx. Avec une meilleure

atomisation, la combustion est plus homogène, ce qui réduit la formation de zones riches en carburant où les NOx et les particules fines sont généralement générés.

### ❖ **Amélioration de l'Efficacité du Moteur :**

Une meilleure atomisation et un mélange air-carburant homogène permettent une combustion plus efficace, augmentant ainsi le rendement thermique du moteur. Une combustion plus complète et efficace entraîne une réduction de la consommation de carburant, ce qui améliore l'efficacité énergétique globale du moteur.

### ❖ **Meilleure Performance Globale du Moteur :**

Avec une combustion plus efficace, le moteur peut produire plus de puissance pour une même quantité de carburant. Une injection à haute pression permet une réponse plus rapide du moteur, améliorant la réactivité et la performance en conditions variées.

### **3.2.1.2. Réalisation de l'Amélioration :**

#### ❖ **Développement de Matériaux Avancés :**

Comme de nouveaux alliages métalliques et de matériaux composites capables de résister à des pressions élevées et à des températures extrêmes. Effectuer des tests approfondis pour garantir que les nouveaux matériaux peuvent supporter les conditions de fonctionnement prolongées sans se dégrader.

#### ❖ **Amélioration des Systèmes de Gestion Électronique :**

Utiliser des capteurs avancés pour mesurer la pression et la température avec une grande précision, permettant un contrôle précis de l'injection. Développer des algorithmes de contrôle sophistiqués pour ajuster les paramètres d'injection en temps réel, optimisant ainsi la combustion pour différentes conditions de fonctionnement.

### **3.2.2. Utilisation de Matériaux Avancés**

L'introduction de nouveaux matériaux innovants, tels que les polymères renforcés à base de nanotubes de carbone et les alliages à base de magnésium renforcés par des nanoparticules de céramique, offre des opportunités passionnantes pour améliorer les performances, la durabilité et l'efficacité énergétique des systèmes d'injection diesel. Ces matériaux offrent des propriétés uniques qui peuvent être exploitées pour répondre aux exigences rigoureuses des applications automobiles modernes.

### 3.2.2.1. Polymères Renforcés à Base de Nanotubes de Carbone (CNT) :

#### Description :

Les polymères renforcés avec des nanotubes de carbone (CNT) sont des composites novateurs intégrant des nanotubes de carbone dans une matrice polymère. Ce mariage confère au matériau final des propriétés mécaniques améliorées et des caractéristiques uniques.

#### Avantages :

- **Résistance Exceptionnelle** : Les nanotubes de carbone offrent une résistance exceptionnelle, dépassant celle de nombreux autres matériaux.
- **Légèreté** : Grâce à leur structure nanométrique, les CNT sont incroyablement légers, ce qui permet de réduire le poids des composants.
- **Conductivité Élevée** : Les nanotubes de carbone présentent une excellente conductivité électrique et thermique, ce qui peut être avantageux pour certaines applications.

#### Applications Potentielles :

- Composants Internes des Injecteurs : Les CNT pourraient être utilisés pour renforcer les composants internes des injecteurs, tels que les soupapes et les sièges. Cette utilisation permettrait d'améliorer la durabilité et la performance à long terme de ces pièces critiques.

### 3.2.2.2. Alliages à Base de Magnésium Renforcés par des Nanoparticules de Céramique :

#### Description :

Les alliages à base de magnésium renforcés par des nanoparticules de céramique combinent la légèreté du magnésium avec la résistance des nanoparticules de céramique, telles que l'oxyde d'aluminium ( $Al_2O_3$ ) ou le carbure de silicium (SiC). Cette combinaison crée des matériaux hybrides aux propriétés mécaniques exceptionnelles.

#### Avantages :

- **Résistance à la Corrosion** : Les alliages à base de magnésium sont naturellement résistants à la corrosion, ce qui en fait des candidats attrayants pour les applications automobiles.
- **Légèreté** : Le magnésium est l'un des métaux structurels les plus légers, ce qui permet de réduire le poids des composants tout en conservant une bonne résistance.

- **Résistance Élevée** : L'incorporation de nanoparticules de céramique renforce encore la résistance de ces alliages, les rendant adaptés à des environnements de fonctionnement exigeants.

### **Applications Potentielles :**

- **Composants Structuraux des Systèmes d'Injection** : Ces alliages pourraient être utilisés dans la fabrication de composants structurels des systèmes d'injection, tels que les boîtiers de pompe haute pression. Ils offriraient ainsi une résistance élevée tout en réduisant le poids global du système.

### **3.2.3. Gestion Électronique Avancée**

La gestion électronique avancée représente une avancée majeure dans l'optimisation des systèmes d'injection diesel. En exploitant les capacités des UCE de nouvelle génération, les constructeurs automobiles peuvent améliorer la performance, réduire les émissions et garantir une efficacité énergétique maximale dans leurs moteurs diesel. Cependant, cela nécessite une approche intégrée, combinant matériel, logiciel et techniques d'intelligence artificielle pour relever les défis de complexité et réaliser pleinement les avantages de cette technologie de pointe

#### **3.2.3.1. Développement de Capteurs Innovants :**

Pour fournir des données en temps réel sur un large éventail de paramètres moteur, tels que la pression, la température, la composition des gaz d'échappement, etc. Ces capteurs améliorés permettront une surveillance plus fine et une adaptation plus précise du processus d'injection de carburant.

#### **3.2.3.2. Intégration de l'Intelligence Artificielle :**

Développer des algorithmes d'intelligence artificielle plus sophistiqués pour l'analyse des données des capteurs et la prise de décision en temps réel. L'intégration de l'IA peut permettre une optimisation plus avancée de la combustion, en tenant compte de multiples variables et en adaptant dynamiquement les paramètres d'injection pour maximiser l'efficacité et minimiser les émissions.

### **3.2.3.3. Systèmes de Contrôle Prédicatif :**

Mettre en place des systèmes de contrôle prédictif basés sur des modèles de simulation avancés du comportement du moteur. Ces systèmes peuvent anticiper les changements dans les conditions de fonctionnement et ajuster proactivement les paramètres d'injection pour maintenir des performances optimales, réduisant ainsi la nécessité de réactions rapides basées uniquement sur des données en temps réel.

### **3.2.4. Innovation dans les Injecteurs piézoélectrique :**

Les injecteurs piézoélectriques utilisent des cristaux piézoélectriques pour contrôler l'ouverture et la fermeture de la valve d'injection. Lorsqu'une tension électrique est appliquée, les cristaux se déforment, ce qui permet de déplacer la valve très rapidement et avec une grande précision.

#### **3.2.4.1. Améliorations Techniques :**

##### **3.2.4.1.1. Amélioration des Matériaux Piézoélectriques :**

Pour améliorer les propriétés mécaniques et électriques des cristaux piézoélectriques, on intègre de nouveaux matériaux tels que les céramiques dopées et les composites à base de polymères. Par exemple, on utilise des matériaux comme le PMN-PT (Plomb Magnésium Niobate - Titane) et le PZT (Plomb Zirconate Titanate) dopé. Ces matériaux augmentent la sensibilité, la durabilité et la résistance aux contraintes mécaniques et thermiques des cristaux piézoélectriques.

Pour prolonger la durée de vie et améliorer la fiabilité opérationnelle des cristaux, on applique des revêtements protecteurs. Ces revêtements en céramique ou en polymère augmentent la résistance des cristaux à la corrosion et à l'usure.

##### **3.2.4.1.2. Techniques de Fabrication Avancées :**

On utilise l'impression 3D pour créer des composants piézoélectriques avec des structures plus complexes et plus robustes. Cette méthode permet également d'optimiser la géométrie des composants, améliorant ainsi leur performance et durabilité.

On applique des techniques de frittage par micro-ondes et de frittage assisté par champ électrique pour améliorer la densité et l'homogénéité des matériaux piézoélectriques. Ces

techniques réduisent les défauts internes et augmentent la fiabilité des composants en minimisant les points faibles susceptibles de provoquer des défaillances.

### **3.2.4.1.3. Amélioration de la Gestion Thermique :**

Pour gérer la dissipation thermique des injecteurs de manière plus efficace, on intègre des systèmes de refroidissement directement au sein des injecteurs. Cela inclut des micro canaux de refroidissement intégré et des matériaux à changement de phase pour absorber et disperser la chaleur.

Pour prévenir la dégradation thermique des cristaux piézoélectriques, on utilise des matériaux avec une meilleure conductivité thermique pour la structure des injecteurs. Les alliages métalliques avancés et les composites thermo-conducteurs permettent de répartir et de dissiper la chaleur plus efficacement.

### **3.2.4.1.4. Contrôle en Temps Réel**

Pour identifier et corriger rapidement les problèmes, on intègre des capteurs de pression et de température directement dans les injecteurs. Ces capteurs permettent un contrôle en temps réel de la performance des injecteurs pendant leur fonctionnement, surveillant les conditions internes et assurant une opération optimale

## **3.2.5. Intelligence Artificielle et Machine Learning**

L'application de l'intelligence artificielle (IA) et du machine Learning (ML) pour analyser les données des capteurs en temps réel peut optimiser le fonctionnement des systèmes d'injection en adaptant les paramètres en fonction des conditions de conduite.

L'utilisation de l'intelligence artificielle (IA) et du machine Learning (ML) dans les systèmes d'injection diesel peut se faire de plusieurs manières pour améliorer leur fonctionnement :

- **Optimisation des Paramètres d'Injection :**

Les algorithmes d'IA peuvent analyser en temps réel les données des capteurs, telles que la pression, la température et la composition des gaz d'échappement, pour ajuster les paramètres d'injection de carburant. En utilisant des modèles prédictifs basés sur des données historiques et en temps réel, l'IA peut déterminer le moment optimal, la durée et la quantité d'injection pour chaque cycle moteur, afin d'optimiser la combustion et de réduire les émissions.



- **Adaptation aux Conditions de Conduite :**

Les systèmes d'IA peuvent apprendre et s'adapter aux différentes conditions de conduite, telles que la vitesse, la charge et l'accélération, pour ajuster dynamiquement les paramètres d'injection. Par exemple, lors d'une accélération rapide, l'IA peut augmenter la quantité de carburant injectée pour répondre à la demande de puissance supplémentaire, tout en maintenant des niveaux d'émissions acceptables.

- **Détection et Correction des Anomalies :**

Les algorithmes de ML peuvent être formés pour détecter les anomalies dans les données des capteurs, ce qui pourrait indiquer des problèmes potentiels dans le système d'injection ou dans le moteur. Par exemple, une baisse soudaine de pression d'admission pourrait indiquer un dysfonctionnement dans l'injecteur ou un problème de combustion. L'IA peut alors prendre des mesures correctives, telles que l'ajustement des paramètres d'injection ou l'allumage d'un voyant d'avertissement pour alerter le conducteur.

- **Optimisation de la Consommation de Carburant :**

En analysant les schémas de conduite et les conditions de charge du moteur, l'IA peut identifier les opportunités d'optimiser la consommation de carburant. Par exemple, en ajustant les paramètres d'injection pour favoriser une combustion plus efficace à des vitesses de croisière, l'IA peut contribuer à réduire la consommation de carburant et les émissions de CO<sub>2</sub>.

### 3.2.6. Ajout d'un Réservoir d'Additif :

L'amélioration des systèmes d'injection diesel peut être réalisée en intégrant un réservoir d'additif à côté du réservoir de carburant principal. Cette approche permet d'injecter automatiquement des additifs nettoyants et protecteurs dans le carburant, en fonction des besoins spécifiques du moteur. L'objectif est de maintenir les injecteurs propres, d'améliorer l'efficacité du moteur et de réduire les émissions polluantes. Cette perspective implique un système automatisé avec une électrovanne et des capteurs pour réguler l'ajout d'additifs.

#### 3.2.6.1. Composants et Fonctionnement Technique

##### 3.2.6.1.1. Réservoir d'Additif :

- Le réservoir doit être fabriqué à partir de matériaux résistants aux propriétés chimiques des additifs, tels que les polymères renforcés ou les alliages inoxydables.

- La capacité du réservoir doit être dimensionnée pour contenir une quantité suffisante d'additifs pour plusieurs cycles de réservoir de carburant, minimisant ainsi la fréquence des recharges.

### **3.2.6.1.2. Capteurs de pourcentage :**

- Utilisation de capteurs de niveau ultrasoniques ou capacitifs pour une mesure précise des niveaux de liquide dans le réservoir d'additif et le réservoir de carburant.
- Les capteurs doivent être installés de manière à détecter le pourcentage de l'additif dans la quantité de carburant existe dans le réservoir pour déclencher l'ajout d'additifs au bon moment.

### **3.2.6.1.3. Électroaimant :**

- L'électrovanne doit être résistante aux additifs chimiques et capables de fonctionner sous les conditions de pression et de température du système de carburant.
- L'électrovanne est contrôlée électroniquement par l'unité de contrôle électronique (UCE) pour ouvrir et fermer selon les besoins déterminés par les capteurs de pourcentage.

### **3.2.6.1.4. Unité de Contrôle Électronique (UCE) :**

- L'ECU doit être programmée pour gérer les capteurs et l'électrovanne, déterminer le moment et la quantité d'additif à injecter en fonction des données reçues.
- Le logiciel de l'ECU doit inclure des algorithmes pour calculer le taux de mélange optimal basé sur le volume de carburant, les conditions de conduite et les besoins spécifiques du moteur.

## **3.2.7. Ajout d'un filtre directement avant le réservoir de carburant :**

L'ajout d'un filtre avant le réservoir de carburant dans les moteurs diesel est une technique visant à améliorer la qualité du carburant entrant, protéger les composants du système d'injection, et garantir une performance optimale du moteur. Voici comment cette technique fonctionne et son impact potentiel.

### **3.2.7.1. Fonctionnement de la Technique**

Le filtre est installé en ligne avec la conduite de carburant avant qu'elle n'entre dans le réservoir. Cette position stratégique permet d'éliminer les impuretés et l'eau avant que le carburant ne soit stocké.

Un filtre à microfibrilles Le filtre à microfibrilles utilise des fibres très fines pour capturer des particules aussi petites que 2 à 5 microns. Cela empêche les particules abrasives de pénétrer dans le système d'injection, réduisant ainsi l'usure des injecteurs., tandis que Le filtre à coalescence utilise des matériaux hydrophobes pour agglomérer les gouttelettes d'eau présentes dans le carburant. L'eau séparée est ensuite drainée, évitant ainsi la corrosion et les dommages aux injecteurs causés par l'eau.

### **3.2.7.2. Les avantages :**

- ✓ Protection des Injecteurs
- ✓ Amélioration de la Fiabilité
- ✓ Optimisation de la Performance
- ✓ Réduction des Émissions
- ✓ Prévention des Pannes
- ✓ Augmentation de la Durabilité

### **3.3. Conclusion :**

En conclusion, l'amélioration continue des systèmes d'injection diesel est fondamentale pour garantir des moteurs à la fois performants, économes en carburant et à faibles émissions. Dans ce chapitre, nous avons exploré diverses solutions visant à résoudre les problèmes courants des systèmes d'injection, telles que l'utilisation de carburants de haute qualité, l'entretien régulier des filtres et l'intégration de technologies avancées comme l'ajout d'un réservoir d'additif et d'un filtre directement avant le réservoir de carburant nous pouvons garantir une fiabilité et une durabilité accrues.

L'innovation continue dans ce domaine est cruciale pour répondre aux exigences environnementales croissantes et offrir des moteurs plus propres et plus efficaces. Avec un engagement envers la recherche et le développement, l'avenir des systèmes d'injection diesel est prometteur pour des véhicules plus performants et respectueux de l'environnement.

---

## Conclusion générale

---

## **Conclusion générale :**

L'étude des systèmes d'injection des moteurs diesel est devenue une priorité en raison des exigences croissantes en matière de performance, de réduction des émissions polluantes et de conformité aux normes environnementales.

La problématique principale de ce mémoire était de comprendre comment les évolutions technologiques dans les systèmes d'injection peuvent améliorer l'efficacité et la durabilité des moteurs diesel tout en réduisant leur impact environnemental. Les analyses et recherches menées au cours de ce mémoire ont permis de mettre en évidence plusieurs résultats clés.

Les moteurs diesel, grâce à leur taux de compression élevé, offrent une meilleure efficacité thermodynamique comparée aux moteurs à essence. Les systèmes d'injection à haute pression et les injecteurs électroniques modernes ont significativement amélioré cette efficacité.

Les innovations dans les systèmes d'injection, telles que l'injection directe et la technologie commun rail, ont permis de réduire les émissions de NOx et de particules fines, contribuant ainsi à des moteurs plus propres. Bien que les systèmes d'injection modernes augmentent la performance des moteurs, ils nécessitent une maintenance rigoureuse. L'utilisation d'outils de diagnostic avancés et de pièces de rechange de haute qualité est essentielle pour garantir la fiabilité et prolonger la durée de vie des moteurs. Les hypothèses formulées au début de cette étude ont été confirmées : les innovations dans les systèmes d'injection améliorent effectivement l'efficacité thermodynamique des moteurs diesel, permettent de réduire les émissions polluantes, et posent des défis en termes de maintenance et de fiabilité.

En conclusion, l'étude démontre que les avancées dans les systèmes d'injection des moteurs diesel sont cruciales pour améliorer leurs performances et leur durabilité tout en respectant les normes environnementales. Les moteurs diesel continueront à jouer un rôle vital dans le secteur du transport et de l'industrie grâce à ces innovations technologiques et à des pratiques de maintenance rigoureuses.

# Bibliographie

- [1] smati, w. (2004/2005). Realisation d'un logiciel intractife d'aide au dignosticque de panne et a la reparation du moteur diesel. Génie mécanique, Alger.
- [2] Marcel Menardon , D. (1 janvier 1972). LES MOTEURS - Moteur à explosion, moteur rotatif, moteur diésel. Chotard et associes.
- [3] Enseignants : GUESMI Lamine, Z. (2006, 09 04). GENERALITE SUR LES MOTEURS THERMIQUES. Tunis.
- [4] Piecetrip Mécanicien Tout Terrain. (2019). Récupéré de <https://www.piecetrip.com>
- [5] Ammar KHELAIKIA, I. (2016/2017). CONTRIBUTION A LA MAINTENANCE DES MOTEURS DIESEL (CAS DE LA MINE DE BOUKHADRA). Electromécanique minière, alger.
- [6] Amine, K. (2022, 06 26). Étude thermique et dynamique d'un moteur diesel de type TDI 2.0 L et 140 chevaux. Génie mécanique, Tissemsilt.
- [7] Brun, R. (1981). Science et technique du moteur diesel industriel et de transport (Vol. 2). Technip.
- [8]
- Kerboua, B. (19 octobre 2021). Etude et analyse des systèmes d'injection des moteurs Diesel. (E. U. Europeennes, Éd.) Consulté l'avril 25, 2024
- [9] : MOYNE, L. L. (2003, 08 10). Injection d'essence dans les moteurs d'automobile, Technique de l'ingénieur BM 2550, page (1-4). Paris.
- [10] Moreau, J.-B. (2005). Modélisation de l'écoulement polyphasique à l'intérieure et en sortie des injecteur diesel. Toulouse, l'institut national polytechnique.
- [11] BENCHERIF, M. (2018). Moteurs à combustion interne, combustion et éléments de carburation. Université des Sciences et de la Technologie d'Oran - Mohammed Boudiaf
- [12] ZIDI, Mohamed Naceur. Développement d'un simulateur pour le moteur Diesel en vue d'étudier les performances et le comportement dynamique. 2017. Thèse de doctorat. Université du Québec à Rimouski
- [13] Amari, S. E. (2016/2017). Étude et maintenance d'un moteur diesel de station pétrolière Caterpillar 3512. Ouargla, Forage et Mécanique des Chantiers Pétroliers.
- [14] Pompe d'injection diesel types PE et PF, POSTFACH 50 D-7000 Stuttgart 1, Diffusion : édition delta presse ,31 rue Frédéric JOLIOT 13763 Z.I. Aix –les milles France Robert Bosch GmbH, 1985
- [15] SALHI ZINEDDINE 2018/2019 Etude thermodynamique et dimensionnement du moteur à combustion interne Université 8 mai 1945 – Guelma dirige Dr. Kribes Nabil