

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE KASDIMERBAHOUGLA



Faculté des Sciences Appliquées
Département de Génie Mécanique

Mémoire

MASTERACADEMIQUE

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Fabrication mécanique et productique

Présenté Par :

Lafou Mohammed Cherif
Ouazzani Mohammed Yasser

Thème :

**Coûts de remplacement et analyse
des coûts de réparation: quand
réparer ou: remplacer un moteur**

Devant le jury :

Président:	Mr. Khalfi Mehdi	UKM Ouargla
Examineur:	Mr. Karek Rabie	UKM Ouargla
Encadreur :	Pr. Bouakba Mostafa	UKM Ouargla

Année Universitaire : 2024/2025

Remerciements

Nous adressons nos remerciements à tous ceux qui ont contribué à nous et/ou a fourni une Mostafa, qui assistance pour nous à la fin de la présente note. A partir de Mr. BOUAKBA était la meilleure preuve et notre rapide, et à tous les collègues et amis qui nous ont soutenus à travers ce travail, ainsi que les parents chers, qui étaient la cause de ce succès et le niveau auquel nous sommes aujourd'hui, je demande à Allah de nous aider à réaliser toutes les aspirations, et ne pas oublier le président et les membres du Comité d'évaluation, qui a accepté d'examiner ce travail et nous sommes confiants que leurs commentaires et conseils seront de grande valeur. Enfin, nous tenons à remercier tous les enseignants et le personnel administratif à la Faculté de sciences appliquées et tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à la réalisation de cette voie scientifique Nous demandons à Allah Tout-Puissant paiement et de conciliation.

نتقدم بأحر الشكر لجميع من ساهم معنا أو قدم لنا المساعدة في اتمام هذه المذكرة . بداية بالأستاذ بو عقبة مصطفى و الذي كان خير دليل و موجه لنا , و الى كل الزملاء و الأصدقاء الذين ساندونا خلال هذا العمل بالإضافة الى الوالدين الكريمين اللذان كانا سببا في هذا النجاح و المستوى الذي نحن فيه اليوم , راجين من الله ان يساعدنا على تحقيق جميع أمنياتهم , ولا ننسى السيد رئيس و أعضاء لجنة التقييم الذين وافقوا على النظر في هذا العمل و نحن على ثقة بأن ملاحظاتهم و التوجيه ستكون ذات قيمة عالية . وأخيرا نود أن نشكر جميع المعلمين و الموظفين الإداريين في كلية الهندسة الميكانيكية.

Dédicas

إلى من كان لهم الفضل بعد الله في وصولي إلى هذا المستوى العلمي،
إلى والديّ العزيزين، رمز التضحية والعطاء،
إلى إخوتي (فاتح وعبد الشكور ويوسف الوزاني وأخواتي) (محمد وليد العفو و اختي) الذين دعموني
بالكلمة الطيبة والدعاء،

إلى المعجزة التي تجعل كلّ شيء ممكناً بصبرها ودعمها
إلى أساتذتي الكرام، الذين لم يبخلوا عليّ بعلمهم وتوجيهاتهم،
إلى أصدقائي الذين شاركوني رحلة الكفاح،
أهدي ثمرة جهدي هذا عرفاناً وتقديرًا.

Résumé :

En résumé, ce mémoire apporte une réponse concrète à la problématique posée en proposant une méthodologie claire et accessible pour comparer les coûts de réparation et de remplacement. Il constitue un outil d'aide à la décision précieux pour les automobilistes et les professionnels, leur permettant d'opter pour la solution la plus adaptée en fonction de critères techniques et économiques bien définis.

Mots clés :

Moteur diesel, Coûts de réparation, Coûts de remplacement, Système de lubrification, Système de refroidissement, Pannes du moteur, Moteur Tiguan 1.6 TDI, Pannes mécaniques.

الملخص: إجمالاً تجيب هذه المذكرة عن الإشكالية المطروحة من خلال تقديم منهجية واضحة ومبسطة للمقارنة بين إصلاح المحرك واستبداله، وتوفر أداة عملية لأصحاب المركبات والمهنيين تساعدهم على اتخاذ القرار الأمثل بناءً على معطيات تقنية واقتصادية ملموسة.

الكلمات المفتاحية: محرك ديزل، تكاليف الإصلاح، تكاليف الاستبدال، قرار الإصلاح أو الاستبدال، نظام التزييت، نظام التبريد، أعطال المحرك، محرك تيجوان 1.6 TDI، الأعطال الميكانيكية.

Summary:

In summary, this thesis provides a concrete answer to the issue raised by proposing a clear and accessible methodology for comparing repair and replacement costs. It serves as a valuable decision-making tool for motorists and professionals, enabling them to choose the most suitable solution based on well-defined technical and economic criteria.

Keywords:

Diesel engine, Repair costs, Replacement costs, Lubrication system, Cooling system, Engine failures, Tiguan 1.6 TDI engine, Mechanical failures.

Liste des Figures

	Chapitre 01: Recherche Bibliographe : Les moteurs diesel	
Figure (1.1)	Schéma d'un moteur Diesel à injection direct	3
Figure (1.2)	Les structures des préchambres de combustion	5
Figure (1.3)	L'injection directe	6
Figure (1.4)	Injecteur piezo de Siemen	9
Figure (1.5)	L'admission d'air	11
Figure (1.6)	La compression d'air	11
Figure (1.7)	L'explosion	12
Figure (1.8)	L'échappemen	12
Figure (1.9)	cycle diesel théorique	14
Figure (1.10)	Moteur en ligne	15
Figure (1.11)	Moteur en V	16
Figure (1.12)	Moteur boxé	16
Figure (1.13)	Moteur en W	17
Figure (1.14)	Moteur radiaux/ en étoile	17
Figure (1.15)	Moteur en U	18
	Chapitre 02 : Les pannes mécaniques	
Figure (2.1)	Moteur Porsche type 911 à refroidissement par air	22
Figure (2.2)	Circuit du liquide de refroidissement avec dégazage par vase d'expansion	25
Figure (2.3)	Le thermostat	25
Figure (2.4)	représente l'ouverture et la fermeture de thermostat	26
Figure (2.5)	vase d'expansion	27
Figure (2.6)	représente l'ouverture et fermeture de La soupape du vase d'expansion	28
Figure (2.7)	Aérotherme	28
Figure (2.8)	schéma de composant de la pompe à eau	29

Figure (2.9)	la pompe à eau	30
Figure (2.10)	le radiateur	30
Figure (2.11)	le ventilateur	32
Figure (2.12)	Ex : embrayage, tambour de freins, etc...	36
Figure (2.13)	EX : frottement du piston sur le cylindre	36
Figure (2.14)	Ex : la portée de vilebrequin sur son palier	37
Figure (2.15)	Le graissage ordinaire sous pression	37
Figure (2.16)	Le graissage intégral	38
Figure (2.17)	Le graissage par projection	38
Figure (2.18)	La méthode de lubrification par éclaboussement continu	40
Figure (2.19)	La méthode d'alimentation forcée interne complète	41
Figure (2.20)	Les composants du système de lubrification forcée.	42
Figure (2.21)	Types de pompes à huile.	43
Figure (2.22)	Méthode d'ouverture du filtre à huile.	44
Figure (2.23)	Méthode d'ouverture du réservoir d'huile	44
Figure (2.24)	Démontage de la pompe à huile.	45
Figure (2.25)	Réservoir d'huile.	46
Figure (2.26)	Filtre à huile remplaçable.	47
Figure (2.27)	A : Démontage de la soupape de sécurité de la pompe à huile. B : Démontage de la pompe à huile.	47
Chapitre 03: Étude économique – Réparation vs Remplacement		
Figure (3.1)	moteur neuf	59
Figure (3.2)	moteur reconditionné	60
Figure (3.3)	Comparaison des coûts Réparation vs Remplacement Moteur	63

Liste des Tableaux

	Chapitre 01 : Recherche Bibliographe : Les moteurs diesel	
Tableau (1.1)	Cycle diesel	14
	Chapitre 02 : Les pannes mécaniques	
Tableau (2.1)	Les éléments soumis au frottement	35
	Chapitre 03 :	
	Étude économique – Réparation vs Remplacement	
Tableau (3.1)	Coût total de réparation	58
Tableau (3.2)	Coûts de remplacement : moteur neuf	59
Tableau (3.3)	Coûts de remplacement : moteur reconditionné	61
Tableau (3.4)	Analyse Coûts Réparation vs Remplacement Moteur	62
Tableau (3.5)	État du véhicule et recommandations suggérées proposées	65
Tableau (3.6)	Usage prévu du véhicule et recommandations proposées	65

Sommaire

Remerciements	I
Dédicace	II
Résumé	VII
Liste des Figures	IV
Liste des Tableaux	VI
Liste des Symboles	XII
Sommaire	XIV
Introduction générale	1
Chapitre 01: Recherche Bibliographe : Les moteurs diesel	
1.1 Introduction	3
1.2 Rappel historique du moteur Diesel	4
1.3 Les types de moteur Diesel	4
1.3.1 Moteurs à injection indirecte	4
1.3.2 Les Moteurs à injection directe	5
1.3.3 Moteurs à rampe commune et Injecteur Pompe	7
1.4 Comment ça marche le moteur Diesel	9
1.4.1 Le Principe	10
1.4.2 Les temps de la combustion	11
1.4.3 Le démarrage d'un moteur Diesel	12
1.4.4 Le cycle du Diesel	13
1.5 Configurations Des Moteurs	15
1.5.1 Moteur en ligne	15
1.5.2 Moteur en V	15
1.5.3 Moteur Boxer ou en « I »	16
1.5.4 Moteur en W	17
1.5.5 Moteurs radiaux / en étoile	17
1.5.6 Moteur en U	18
1.6 Différence entre moteur diesel et essence	18
1.6.1 Avantages du moteur diesel	19
1.6.2 Inconvénients du moteur diesel	19

1.7 Conclusion	19
Chapitre 02:Les pannes mécaniques	
2.1 Introduction	21
2.2 rôle du système de refroidissement	21
2.3 Les différents types de système de refroidissement	22
2.3.1 Le refroidissement par air	22
2.3.2 Le refroidissement par l'huile	23
2.3.3 Le refroidissement par eau	24
2.4 Avantages et inconvénients du système	32
2.5 Pannes du système de refroidissement	33
2.5.1 Surchauffe du moteur	33
2.5.2 Fuite de liquide de refroidissement	33
2.5.3 Thermostat défectueux	34
2.5.4 Défaillance de la pompe à eau	34
2.5.5 Obstruction du radiateur	34
2.6 Système de lubrification et de graissage	35
2.6.1 Les principales fonctions et missions du système de lubrification du moteur sont les suivantes	35
2.6.2 Types de graissage	37
2.7 Caractéristiques et classifications de la lubrification	38
2.8 Méthodes de Lubrification	39
2.8.1 La méthode de lubrification par éclaboussement continu	40
2.8.2 La méthode d'alimentation forcée interne et la pulvérisation	40
2.8.3 La méthode d'alimentation forcée interne complète	40
2.9 Les composants du système de lubrification	41
2.10 Le système comprend les composants suivants	42
2.11 Types de pompes à huile	42
2.11.1 Pompes à engrenages externes	43
2.11.2 La pompe rotative	43
2.12 Pannes du système de lubrification et leurs causes	48
2.12.1 Baisse de pression d'huile	48
2.12.2 Consommation excessive d'huile	48

2.12.3 Contamination de l'huile	48
2.12.4 Blocage des canaux de lubrification	49
2.13 Conclusion	49
Chapitre 03: Étude économique – Réparation vs Remplacement	
3.1 Introduction	51
3.2 Coûts de réparation : pièces, main-d'œuvre, temps d'immobilisation	51
3.3 Coûts de remplacement : moteur neuf, moteur reconditionné, main-d'œuvre	58
3.3.1 Moteur neuf	58
3.3.2 Moteur reconditionné	60
3.4 Analyse comparative de cas réels	62
3.5 Critères de décision	63
3.5.1 Valeur marchande du véhicule	63
3.5.2 Coût de réparation par rapport à la valeur du véhicule	63
3.5.3 Historique des pannes	64
3.5.4 Durée d'immobilisation	64
3.5.5 Garantie après intervention	64
3.5.6 Âge du véhicule et kilométrage	65
3.5.7 Disponibilité des pièces ou du moteur	65
3.5.8 Usage prévu du véhicule	65
3.6 Étude de rentabilité : quand le remplacement devient plus logique ?	66
3.7 Conclusion	66
Conclusion générale	
Conclusion générale	68

Introduction générale

Introduction générale :

Les moteurs diesel constituent l'un des éléments mécaniques les plus importants dans les voitures modernes, en raison de leur rendement thermique élevé et de leur faible consommation de carburant par rapport aux moteurs à essence. Cependant, ces moteurs sont sujets à diverses pannes au fil du temps ou en raison de conditions de fonctionnement non idéales, ce qui place le propriétaire ou le technicien devant deux options principales : réparer le moteur ou le remplacer.

La prise de décision optimale entre ces deux options nécessite une étude approfondie prenant en compte à la fois les aspects techniques (type de panne, âge du moteur, qualité des pièces) et les aspects économiques (coûts de réparation, coûts de remplacement, valeur marchande du véhicule, durée d'immobilisation). Ce défi devient encore plus complexe dans un contexte de hausse des prix des pièces détachées et de difficulté d'accès à des moteurs de rechange d'origine ou reconditionnés fiables.

Notre travail se divise en trois chapitres comme suit :

Chapitre 1 : Recherche Bibliographe : Les moteurs diesel

Chapitre 2 : Pannes mécaniques

Chapitre 3 : Étude économique – Réparation vs Remplacement

L'objectif de ce mémoire est d'analyser la différence entre le coût de la réparation et celui du remplacement dans des cas réels, en mettant en lumière les facteurs qui peuvent favoriser l'un ou l'autre choix, à travers l'étude de cas du moteur Volkswagen Tiguan 1.6 TDI comme modèle d'application. Nous accordons également une attention particulière aux pannes liées aux systèmes de lubrification et de refroidissement, car elles sont parmi les causes les plus fréquentes de détérioration complète du moteur.

Chapitre 01 :

Recherche Bibliographe

Les moteurs diesel

Chapitre 01 : Recherche Bibliographique

1.1 Introduction:

Le fonctionnement d'un moteur Diesel diffère de celui d'un moteur à essence. Bien qu'ils aient les mêmes principaux organes et qu'ils aient le même cycle à quatre temps, un moteur diesel et un moteur à explosion diffèrent sensiblement, notamment dans la manière dont le mélange carburé y est enflammé et dans la manière dont la puissance délivrée y est régulée. Dans un moteur à essence, une étincelle électrique éclaire le mélange carburé. L'allumage d'un moteur diesel est obtenu par auto-inflammation du carburant à la suite de l'échauffement de l'air par compression.

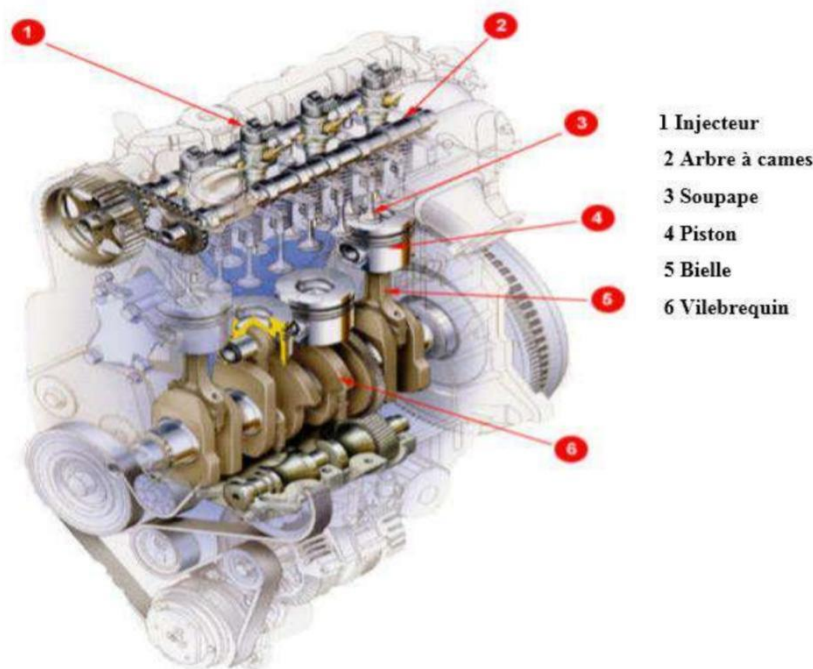


Figure (1.1): Schéma d'un moteur Diesel à injection directe

Dès 1678, le scientifique hollandais Christiaan Huygens a développé un moteur à combustion interne. Toutefois, il ne fut en effet érigé que bien plus tard. De la carriole motorisée du Suisse Isaac de Rivaz en 1805 à la voiture construite par Étienne Lenoir à Paris en 1863 et fonctionnant au gaz d'éclairage, le moteur à combustion interne n'a pu être utilisé dans un véhicule de transport de personnes qu'au milieu des années 1880. Le premier cycle à quatre temps fut inventé par le Français Beau de Rochas en 1862. Un moteur à gaz a été développé par les deux ingénieurs allemands Eugen Langen et August Otto en 1866 et en 1876.

Chapitre 01 : Recherche Bibliographique

Otto développa un moteur à quatre temps, qui a été à l'origine de la plupart des moteurs à combustion interne par la suite. Pour plus de détails, consultez.[1]

1.2 Rappel historique du moteur Diesel :

Le moteur Diesel utilisé dans les voitures que nous connaissons aujourd'hui est le résultat d'une progression continue.

Les circonstances telles que le premier choc pétrolier et l'émergence des normes antipollution ont accéléré cette évolution. 1897 : Le premier moteur développé par Rudolf Diesel, un ingénieur thermicien, est mis en service en Allemagne. Il est le fruit de recherches théoriques visant à optimiser le rendement thermodynamique. Ce moteur, dont le rendement est de 26,2 % (par rapport aux 20 % du moteur à essence de l'époque), produit 27 kW.

1936 : La première voiture à moteur Diesel, la 260 D, est fabriquée en petite série par Mercedes.

1938 : Peugeot produit un millier de modèles 402 Diesel en série. Au cours de l'année 1973, la crise pétrolière encourage la diffusion des voitures diesel.

1988 : La première voiture de série à moteur à injection directe est fabriquée par Fiat.

1989 : La première voiture à moteur à injection directe à régulation électronique est présentée par Audi.

1998 : Bosch a commencé à utiliser l'injection directe à rampe commune sur des véhicules de série.

2000 : De nombreux constructeurs européens développent une version de leur véhicule de luxe avec un moteur V8 Diesel à injection directe à rampe commune.

1.3 Les types de moteur Diesel :

1.3.1 Moteurs à injection indirecte :

Afin d'assurer un bon fonctionnement et un bon rendement d'un moteur à combustion interne, il est essentiel de bien mélanger le carburant et l'air. Le mélange air-carburant pose des problèmes particulièrement complexes dans un moteur Diesel, car ces éléments sont introduits

Chapitre 01 : Recherche Bibliographique

dans les cylindres à des moments du cycle différents. Deux types d'injection sont disponibles : l'injection directe et l'injection indirecte, voir ci-dessous.[2]

L'injection indirecte a été généralement utilisée, car elle est le moyen le plus facile de générer une turbulence qui garantit un mélange intime de la dose de carburant avec l'air déjà fortement comprimé dans la chambre de combustion.

De plus, dans un moteur à injection indirecte, le carburant ne se déplace pas directement dans la chambre de combustion principale, mais plutôt dans une petite chambre de turbulence en spirale (connue également sous le nom de chambre de précombustion) où la combustion commence en réalité, comme illustré dans la figure (1.2).

Le désavantage de ce système réside dans le fait que la chambre de turbulence est finalement une annexe de la chambre de combustion, ce qui crée un ensemble de forme peu favorable à l'obtention d'une combustion réellement complète et régulière. La figure (1.2) illustre deux types de ces moteurs similaires.

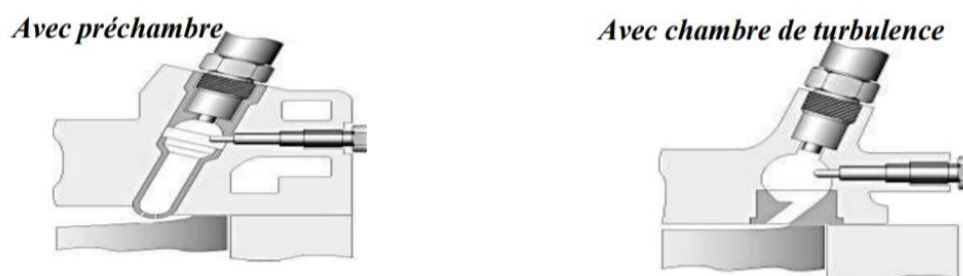


Figure (1.2): Les structures des préchambres de combustion

Dans ces deux situations, la combustion a lieu dans deux volumes distincts : une chambre, qui représente 30 à 60 % du volume total, qui reçoit l'injection du carburant et où la combustion commence, et une chambre principale dans laquelle elle se termine.

1.3.2 Les Moteurs à injection directe :

Le choix d'un moteur à injection directe est justifié par son rendement supérieur par rapport aux moteurs à injection indirecte.

Chapitre 01 : Recherche Bibliographique

Effectivement, la proportion entre la surface et le volume de la chambre de combustion est considérablement plus faible pour un moteur à chambre à espace mort unique (injection directe, voir figure I.3) que pour un moteur à préchambre (injection indirecte, voir figure 1-2) ; de plus, la durée de combustion est plus courte dans un moteur à injection directe.

Les échanges thermiques entre la chambre de combustion et le système de refroidissement sont réduits par ces deux paramètres, ce qui entraîne une diminution du rendement. Il existe deux problèmes liés à l'injection directe : les bruits de combustion et les émissions d'oxyde d'azote (NOx). [2], [3]

Les réglages de base ont été stabilisés et affinés grâce à l'introduction de la régulation électronique dans les systèmes d'injection, que ce soit au niveau du moment d'injection ou du débit de combustible. La caractéristique commune de ces différents systèmes d'injection mécaniques par pompe distributrice, qu'ils soient ou non régulés électroniquement, est la variation de la pression d'injection en fonction de la vitesse de rotation du moteur. Il est difficile de contrôler pleinement la combustion en raison de cette variation de pression d'injection.



Figure (1.3) : L'injection directe

Les moteurs Diesel à injection directe, tels que les TDI du groupe Volkswagen, les "anciens moteurs" 90 et 110 CV des Golf et Passat, les DTI de Renault, les TDDI (ou les transit) de Ford, les Iveco et les Fiat TDI équipés de moteurs SOFIM, sont des moteurs Diesel à injection directe. Leur pompe injection rotative HP semi-automatique est intégrée (avec des composants électroniques et parfois même un calculateur). En ouvrant les injecteurs les uns après les autres, la pompe à injection distribue le carburant à chaque cylindre, sous pression

Chapitre 01 : Recherche Bibliographique

du gasoil, mais l'injecteur injecte directement dans le cylindre. Ils ont une pression d'injection allant de 180 à 250 bars.

En général, ces moteurs ne disposent pas de bougies de préchauffage, ce qui signifie qu'il n'est pas nécessaire de préchauffer le moteur avant de démarrer. Cependant, ils sont souvent équipés d'un thermostat situé dans la pipe d'échappement pour réchauffer l'entrée d'air (lors du démarrage).

Avantage :

La consommation est réduite, les joints déculasses sont plus fiables et il y a moins de ruptures sur le Sofim. Conséquences : Ils sont "assez bruyants", on les reconnaît grâce à leur son spécifique lié à une pression d'injection plus élevée, et ils auraient eu du mal à respecter les exigences des futures lois anti-pollution (en particulier les modèles sans turbo).

1.3.3 Moteurs à rampe commune et Injecteur Pompe :

Le système d'injection haute pression à rampe commune implique l'alimentation d'une rampe commune (Common-rail en anglais) par une pompe haute pression pilotée électroniquement, qui joue le rôle d'accumulateur de carburant. Les injecteurs de cette rampe permettent une pulvérisation très fine directement dans la chambre de combustion grâce à une pression allant de 200 à 1400 bars.

La pulvérisation extrêmement fine permet d'améliorer la combustion afin d'obtenir davantage de détails. [2], [4]

À la différence des systèmes à pompe distributrice, la pression d'injection n'est pas liée à la vitesse de rotation du moteur et reste constante pendant la phase de production. L'utilisation d'un calculateur électronique pour piloter l'injection offre aux motoristes une grande liberté de programmation. On peut réduire la quantité de combustible injecté en effectuant une pré-injection, ce qui permet de diminuer les bruits de combustion et la production de NOx.

Cette petite quantité de carburant (1 à 4 mm³) permet de préparer l'inflammation du combustible en augmentant la température et la pression dans la chambre de combustion lors de l'injection principale.

Le nettoyage des véhicules équipés de filtres à particules nécessite une post-injection, qui est possible grâce à la gestion des injecteurs par un calculateur électronique. Le contrôle de tous

Chapitre 01 : Recherche Bibliographique

les paramètres de l'injection par une électronique numérique permet d'améliorer le fonctionnement du moteur. Il est devenu indispensable pour les constructeurs de diminuer les émissions de rejets polluants.

Grâce à la gestion électronique numérique de tous les paramètres de l'injection, il est possible d'améliorer le bon fonctionnement du moteur. La diminution des émissions de polluants est devenue une exigence pour les fabricants.

Les émissions de pollution d'un véhicule sont calculées en fonction de la puissance fournie et non d'un pourcentage des gaz émis, ce qui favorise le moteur ayant le meilleur rendement.

L'une des méthodes pour atteindre cet objectif consiste à réduire la consommation et à contrôler la combustion.

Le diesel à injection directe, alimenté par un système d'injection haute pression à contrôle électronique, offre un rendement plus élevé que tous les autres moteurs thermiques. La solution actuelle la plus facilement industrialisable est le système d'injection diesel haute pression à rampe commune, grâce à sa relative simplicité d'adaptation sur les moteurs existants.

L'introduction de l'injection à rampe commune pour les moteurs diesel a permis aux conducteurs de bénéficier d'un nouvel espace de liberté. Les résultats directs sont les avancées dans le domaine du confort, de la consommation et de la réduction de la pollution.

Les moteurs tels que les JTD de Fiat, les HDI de PSA, les DCI de Renault, les CDI de Mercedes et les D4D de Toyota sont des moteurs dits Commons rail. Ils sont munis d'une pompe rotative qui alimente un tube commun (rampe commune) et alimente les injecteurs. Chaque injecteur est ouvert par une électrovanne et un calculateur leur donne l'ordre de s'ouvrir.

Une méthode Fiat qui a été déplacée vers Bosch. À l'avenir, il est prévu que les électrovannes soient remplacées par des systèmes piézoélectriques appelés "électropneumatique", comme illustré dans la figure I -4.

Les moteurs plus petits (les Diesels Renault, PSA et Ford) sont équipés d'une variante développée par Lucas et maintenant Delphi, qui remplace le tube par une sphère, mais le fonctionnement reste identique.

Chapitre 01 : Recherche Bibliographique

Avec leur nouvelle version du TDI, le groupe VW a compliqué les choses avec les 100 et 130 CV des Golfs et Passât, qui sont équipés d'un système appelé injecteur-pompe, ce qui signifie qu'il n'y a plus de pompe rotative, mais plutôt qu'elle est interne à l'injecteur. Lorsqu'il y a une panne, tout est remplacé (sur un cylindre).



Figure (1.4) : Injecteur piezo de Siemens

Leurs avantages :

Les deux systèmes sont dotés de moteurs extrêmement puissants

- . La pollution diminue principalement pendant les phases transitoires d'accélération (tant que le calculateur accomplit correctement son travail).
- Les clients sont « prisonniers », il est impossible de faire réparer n'importe où.

Inconvénients :

L'introduction de l'électronique peut engendrer une multitude de dysfonctionnements liés aux systèmes de contrôle électrique.

1.4 Comment ça marche le moteur Diesel :

Jusqu'à récemment, le moteur diesel était perçu comme un moteur bruyant, polluant et lourd, destiné à des camions, camionnettes et taxis. Cependant, grâce au développement des Diesel légers, rapides et puissants, ainsi qu'à l'amélioration de leurs systèmes d'injection, la situation a évolué dans les années 1980. Le diesel a été couronné de noblesse. Il est parfois présenté comme le moteur de l'avenir. Le principal avantage du moteur Diesel par rapport au moteur à

Chapitre 01 : Recherche Bibliographique

étincelle réside dans son coût d'utilisation réduit. Ce résultat est principalement attribuable à la performance supérieure du diesel – due à son fonctionnement à un taux de compression élevé – et au prix plus bas du carburant par rapport à celui de l'essence, en particulier en Algérie.

1.4.1 Le Principe :

Le fonctionnement d'un moteur diesel diffère d'un moteur à essence. Bien qu'ils aient les mêmes principaux organes et qu'ils aient le même cycle à quatre temps, un moteur diesel et un moteur à explosion diffèrent sensiblement, notamment dans la manière dont le mélange carburé y est enflammé et dans la manière dont la puissance délivrée y est régulée. Dans un moteur à essence, une étincelle électrique éclaire le mélange carburé. Dans un moteur diesel, l'allumage se produit par auto-inflammation du carburant suite à l'échauffement de l'air par compression.

Le rapport volumétrique habituel est de 20 à 1 pour un moteur diesel (de 9 à 1 pour un moteur à essence). L'air dans le cylindre atteint une température supérieure à 450 °C à un tel taux de compression. En raison de cette température, le gasoil s'enflamme spontanément lorsqu'il est en contact avec l'air, sans nécessiter d'étincelle et, par conséquent, sans système d'allumage.

Une masse de mélange carburé d'un moteur à essence varie d'un cycle à l'autre en fonction de l'ouverture du papillon des gaz. Au contraire, un moteur Diesel aspire toujours la même quantité d'air (à un régime égal) à travers un conduit de section constante dans lequel seule la soupape d'admission est intégrée (il n'y a ni carburateur ni papillon).

Lorsque la phase d'admission est terminée, la soupape d'admission se referme, puis le piston, soumis à l'inertie de l'ensemble vilebrequin-volant moteur, remonte vers le haut du cylindre en comprimant l'air dans environ 1/20 de son volume initial. C'est lors de cette phase de compression que la chambre de combustion est remplie d'une quantité de carburant (gasoil) précisément dosée. Ce carburant s'enflamme immédiatement à cause de la haute température de l'air comprimé et les gaz chauds, dilatés, repoussent le piston avec force. Lors de la phase d'échappement, lorsque le piston remonte dans le cylindre, la soupape d'échappement s'ouvre afin de permettre à l'échappement des gaz brûlés et dilatés dans le système d'échappement.

Après l'échappement, le cylindre est prêt à recevoir une nouvelle charge d'air frais pour que le cycle complet recommence.

Chapitre 01 : Recherche Bibliographique

1.4.2 Les temps de la combustion :

Le processus est effectué de temps en temps dans chaque cylindre, ce qui nous donne :

1er Temps L'admission :



Figure (1.5) :L'admission d'air

Alors que le piston descend du point mort haut au point mort bas, la soupape d'admission s'ouvre. La pression atmosphérique pousse l'air à l'intérieur de la culasse.

2ème Temps La compression :

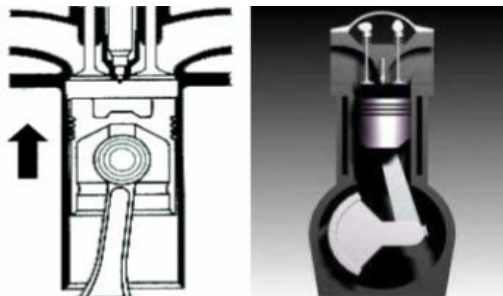


Figure (1.6) : La compression d'air

Le piston monte du point mort bas au point mort haut lorsque les deux soupapes sont fermées. Il comprime ainsi l'air qui a été introduit dans le cylindre auparavant. On comprime l'air contenu dans le cylindre pour le porter à une température d'environ 440°C.

3ème Temps L'explosion ou temps moteur :

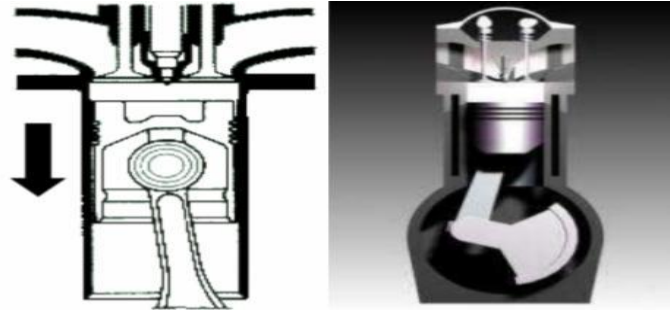


Figure (1.7) : L'explosion

Quand le piston atteint le point mort élevé, le gasoil est injecté sous pression dans le cylindre. L'air comprimé à une température élevée entraîne une inflammation spontanée du carburant, ce qui entraîne une rétraction du piston vers le bas.

4ème Temps L'échappement:



Figure (1.8) : L'échappement

Lorsque le piston remonte du point mort bas vers le point mort haut, la soupape d'échappement s'ouvre, ce qui permet de chasser les gaz brûlés.

1.4.3 Le démarrage d'un moteur Diesel :

Les moteurs Diesel sont propulsés par un moteur électrique (démarreur) qui initie le processus de compression-inflammation, tout comme les moteurs à essence.

À froid, cependant, il est difficile de démarrer les Diesel. Afin de rendre le départ à froid plus facile, on augmente la température des parois de la chambre de combustion et de l'air admis.

Chapitre 01 : Recherche Bibliographique

Les Diesel sont équipés de bougies de préchauffage. Ce sont des organes similaires aux bougies d'allumage, mais plus courts et plus épais, qui sont reliés à l'alimentation électrique du véhicule. Ils sont équipés d'une résistance intérieure qui s'échauffe rapidement dès qu'elle est mise en marche. On met en marche les bougies de préchauffage en utilisant la clé de contact-démarrage-antivol. Elles sont automatiquement mises en place sur les moteurs les plus récents.

Dès que le moteur est lancé et accéléré au-dessus de son régime de ralenti, il est hors circuit. Il y a au moins deux raisons à ce problème de démarrage à froid. D'une part, ils présentent une résistance élevée à l'entraînement en raison de leur taux de compression élevé. D'autre part, la seule compression de l'air froid ne permet pas d'atteindre une température suffisamment élevée pour que le carburant s'enflamme spontanément. La régulation du régime.

La régulation du régime Un moteur Diesel ne possède pas de régulation similaire à celle d'un moteur à essence, car la quantité d'air aspirée à chaque cycle reste constante, peu importe l'effort qui lui est demandé. La seule variable qui influence le régime du moteur est la quantité de carburant injectée dans la chambre de combustion. Une quantité plus élevée de gasoil injecté entraîne une combustion plus intense et une plus grande force.

Le système d'injection est équipé d'un dispositif de dosage (le régulateur) et non, comme dans un moteur à essence, d'un papillon d'admission d'air. En utilisant une clé similaire à une clé de "contact", on peut désormais arrêter un Diesel en coupant non pas le circuit de production d'étincelles, mais plutôt le circuit d'alimentation électrique d'une électrovanne qui contrôle l'arrivée de carburant à la pompe d'injection du système de dosage et de distribution.

1.4.4 Le cycle du Diesel :

Il s'agit du processus de marche des moteurs à allumage par compression. La détente isobare, la détente adiabatique et la transformation isochore forment le cycle théorique.

Au départ, le processus de fonctionnement incluait une phase théorique de combustion à pression constante, comme l'avait suggéré Rudolf Diesel. Les opérations à effectuer pour un moteur à quatre temps, c'est-à-dire pour un cycle qui se déroule pendant deux tours de vilebrequin et quatre courses du piston, étaient les suivantes :

- Le cylindre est rempli d'air (par aspiration naturelle ou mécanique à l'aide d'un compresseur).

Chapitre 01 : Recherche Bibliographique

- réduction de la charge d'air et allumage spontané de ce combustible
- La combustion du mélange se produit à une pression presque constante, puis les gaz brûlés se détendent, ce qui entraîne la production de travail.
- Les produits de la combustion sont expulsés mécaniquement par l'action de poussée du piston lors de sa remontée. Les valeurs de deux rapports caractéristiques étaient représentatives du rendement thermique.

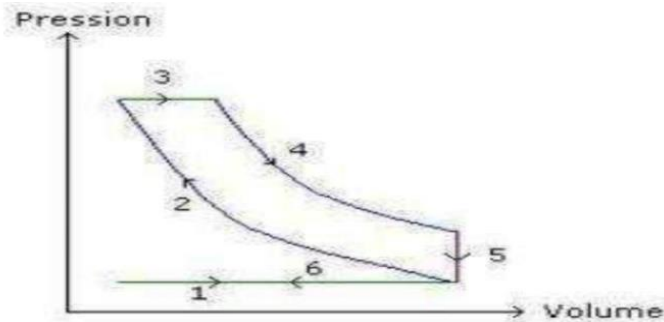


Figure (1.9): cycle diesel théorique

1	Aspiration de l'air.	Transformation isobare (pression constant)
2	Compression de l'air élevé à la température de 600°C.	Transformation adiabatique (sans échange de chaleur avec le milieu extérieur).
3	Injection du gazole qui s'enflamme spontanément (combustion) grâce à la chaleur dégagée lors de la compression.	Transformation isobare.
4	Détente fournissant un travail moteur.	Transformation isochore (volume constant).
5	Diminution de la pression.	Transformation isochore (volume constant).
6	Echappement des gaz brûlés.	Transformation isobare.

Tableau (1.1) : Cycle diesel

Chapitre 01 : Recherche Bibliographique

1.5 Configurations Des Moteurs :

1.5.1 Moteur en ligne :

Dans l'industrie automobile, les moteurs de faible envergure ont généralement des cylindres en ligne. Depuis plus de trente ans, les moteurs comportant quatre cylindres en lignes se sont imposés comme la règle dans ce secteur (Figure I-10).

On reconnaît la douceur de fonctionnement de ces moteurs. [5] On trouve des moteurs en ligne de 2, 3, 4, 5 et 6. On peut monter les moteurs en ligne dans la direction de la largeur ou de la longueur. [6]

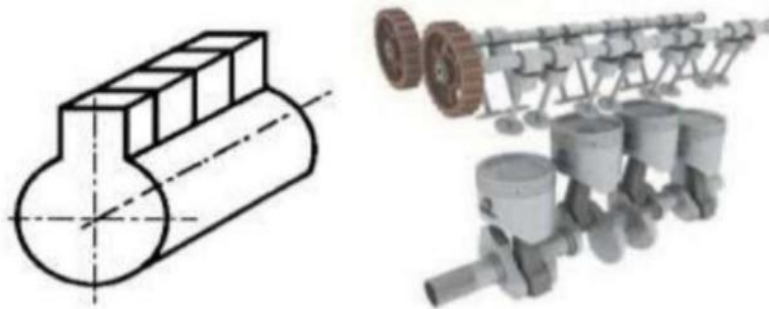


Figure (1.10):Moteur en ligne [6]

1.5.2 Moteur en V :

L'alignement des cylindres est décalé d'un angle spécifique (de 15° à 135°), ce qui rend ce genre de moteur plus compact qu'un moteur en ligne. Il présente également une robustesse supplémentaire et présente une largeur et une hauteur inférieures (voir figure 1-11).

Les moteurs en forme de V peuvent aussi être montés soit dans la direction de la largeur, et le terme « moteur en V » fait référence au fait que les rangées de cylindres peuvent se disposer sous une forme de V. [6]

Un moteur en V peut être plus ou moins droit ou couché, lorsque l'angle est de 90° et qu'un des deux cylindres est à l'horizontale, on parle volontiers de « cylindres en L ».

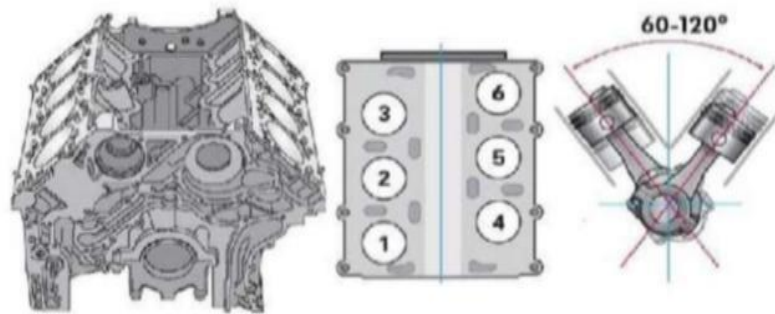


Figure (1.11) : Moteur en v [7]

Sans que le moteur soit vraiment différent d'un moteur en V. [6]

1.5.3 Moteur Boxer ou en « I » :

Les moteurs à cylindres opposés et horizontalement positionnés (connus sous le nom de « Boxer ») sont utilisés pour réduire le centre de gravité des véhicules. Dans un plan horizontal identique, mais dans des sens opposés, les forces d'inertie de premier et de second ordre sont en équilibre. En revanche, dans un bicylindre, l'équilibre des couples d'inertie du premier et du second ordre est perturbé en raison de la différence de plan transversal entre les cylindres (figure 1.12).

Dans le cas d'un 4-cylindres, tant les forces que les couples d'inertie du premier ordre sont équilibrés. [7]

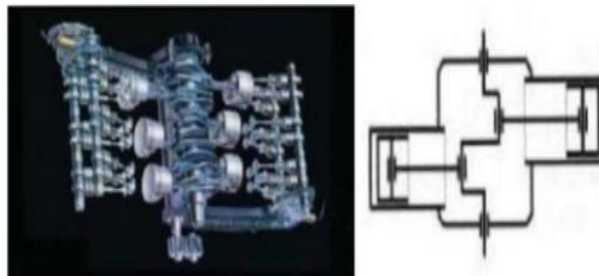


Figure (1.12) : Moteur boxer [6]

Chapitre 01 : Recherche Bibliographique

1.5.4 Moteur en W :

Ils peuvent être :

À **trois cylindres** : chaque cylindre est décalé par rapport à l'autre d'un certain angle, par

- **exemple** : angle du premier par rapport au deuxième : 15° , angle du troisième par rapport au premier : 30° . Appelé aussi moteur « en éventail ». [5]
- **En V**: les cylindres des deux lignes sont eux-mêmes disposés en quinconce, permettant de diminuer un peu la longueur du bloc. [5]

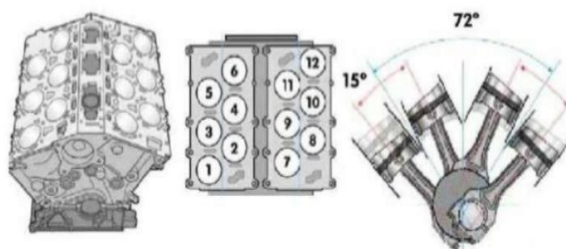


Figure (1.13) : Moteur en w [7]

Exemple d'utilisation :

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

1.5.5 Moteurs radiaux / en étoile :

De nos jours, ce genre de moteur est principalement employé dans les avions à hélices. Dans ces derniers, il est crucial que le refroidissement du moteur soit effectué directement (voir figure 1.14). Ce moteur offre une puissance considérable, exactement ce qu'un avion requiert. [5]

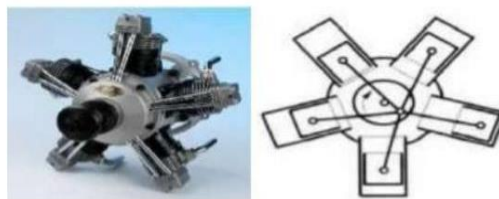


Figure (1.14) : Moteur radiaux/ en étoile [8]

Chapitre 01 : Recherche Bibliographique

1.5.6 Moteur en U :

Le moteur en U est une forme de moteur à combustion qui se distingue par la configuration des cylindres sous forme de U les uns par rapport aux autres. Ce type de moteur se produit lorsque deux moteurs en ligne sont combinés et reliés entre eux. [6]

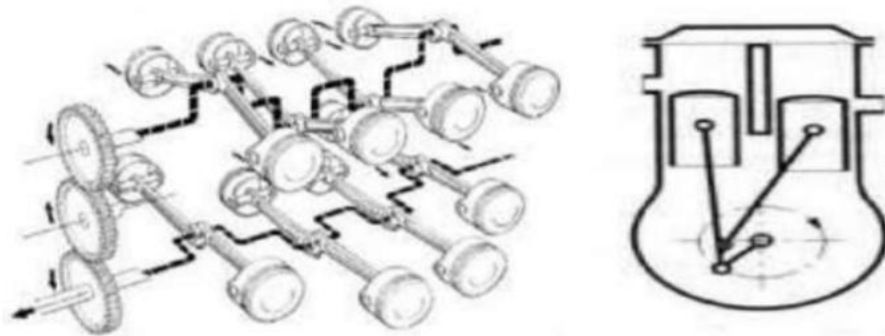


Figure (1.15): Moteur en U [6]

1.6 Différence entre moteur diesel et essence :

A part le combustible utilisé, les moteurs essence et les moteurs diesels possèdent une principale différence qui réside dans le mode d'inflammation du carburant.

Pour être enflammée, l'essence nécessite une étincelle générée par la bougie, tandis que le diesel opère par auto-inflammation (le fluide se met en feu spontanément lorsqu'il atteint environ 250°C).

1) La méthode d'inflammation varie en fonction du combustible, ce qui rend la phase d'explosion différente :

- **Phase d'explosion d'un moteur essence :** le combustible comprimé dans la chambre de combustion est enflammé par une étincelle électrique (c'est le rôle de la bougie).
- **Phase d'explosion d'un moteur diesel :** Le diesel doit atteindre le point d'auto-inflammation, qui se situe autour de 250°C. L'air comprimé dans la chambre de combustion atteint une pression élevée, atteignant une température de 600°C, bien au-dessus du point d'auto-inflammation du diesel. Lorsque le moment est adéquat, l'injecteur se déclenche et un flot de carburant entre dans le cylindre. Le carburant est

Chapitre 01 : Recherche Bibliographique

vaporisé par l'air chaud qui provoque son incendie (IE : l'injecteur de carburant remplace ensuite la bougie).

2) Cette disparité de combustion engendre des bénéfices et des désavantages pour les divers carburants. Nous utiliserons un moteur diesel, les bénéfices duquel correspondent aux désavantages du moteur à essence et inversement.

1.6.1 Avantages du moteur diesel :

- Le couple moteur est plus significatif et demeure constant même à des vitesses basses.
- L'augmentation du rapport volumétrique permet une combustion plus complète et une diminution de la consommation spécifique.
- Le point d'inflammation est nettement supérieur à celui de l'essence, ce qui réduit les risques d'incendie.
- Les gaz d'échappement sont moins nocifs en raison de leur faible teneur en oxyde de carbone.

1.6.2 Inconvénients du moteur diesel:

- Il est nécessaire de surdimensionner les composants mécaniques (à des pressions et températures extrêmement élevées).
- Le bruit de fonctionnement est plus significatif (l'explosion du mélange air-carburant génère une onde de choc qui forme le son moteur que nous pouvons percevoir).
- Nécessite d'un refroidissement plus efficace.
- Le démarrage à froid est inférieur à celui d'un moteur commandé. [9]

1.7 Conclusion :

Ce chapitre revient sur le fonctionnement du moteur diesel à injection directe, sa structure et ses composants clés, les divers capteurs et actionneurs, tout en précisant leurs différentes spécificités.

On peut finalement affirmer que le moteur Diesel à combustion directe, alimenté par un dispositif d'injection haute pression, présente une performance supérieure à tout autre type de moteurs thermiques, tout en réduisant la consommation et les rejets polluants.

Chapitre 02 : Les pannes mécaniques

2.1 Introduction :

Le moteur diesel d'une voiture est un système complexe qui dépend de plusieurs sous-systèmes pour garantir son efficacité et ses performances optimales. Parmi ces systèmes, le système de refroidissement et le système de lubrification jouent un rôle essentiel dans le maintien de la stabilité du moteur et la prévention de sa détérioration. Cependant, ces systèmes peuvent être sujets à plusieurs pannes qui affectent négativement les performances du moteur et peuvent entraîner des défaillances majeures si elles ne sont pas traitées rapidement et efficacement.

Le système de refroidissement est responsable du maintien de la température du moteur dans des limites optimales, empêchant ainsi une surchauffe excessive qui pourrait endommager les composants internes du moteur. Quant au système de lubrification, il assure la réduction des frottements entre les pièces mobiles, ce qui minimise l'usure et prolonge la durée de vie du moteur.

Dans cette note, nous examinerons les pannes les plus courantes pouvant affecter le système de refroidissement et le système de lubrification d'un moteur diesel, en analysant leurs causes et leurs impacts potentiels sur les performances du moteur. Nous fournirons également quelques recommandations pour la maintenance préventive à suivre afin d'éviter ces pannes et de préserver l'efficacité du moteur.

2.2 rôle du système de refroidissement :

La fonction du système de refroidissement est :

- Supprimer les surplus de calories.
- Disperser la chaleur à travers tous les composants du moteur, surtout les chambres de combustion, pour assurer une performance optimale du moteur.
- Permettre à l'huile de garantir une lubrification efficace sans atteindre des températures susceptibles de nuire gravement à ses caractéristiques.
- Conserver l'expansion des composants à un niveau optimal.
- Conservation d'un niveau de remplissage approprié (réduction de l'échauffement des gaz frais).
- Optimisation de la préparation du mélange air-carburant.

- Restriction de la génération d'hydrocarbures non brûlés et d'acides sulfureux lors du contact avec les surfaces.

2.3 Les différents types de système de refroidissement :

Voici les différents types de systèmes de refroidissement qui existent :

- A air
- A l'huile
- A eau

Dans l'industrie automobile celui à eau est souvent le plus adapté, pour ça meilleure efficacité et ses avantages indéniables comme une plus grande stabilité de la température de fonctionnement donc une meilleure lubrification et une pollution moindre, ainsi que des émissions sonore plus faibles car le liquide de refroidissement assure une meilleure isolation.

2.3.1 Le refroidissement par air

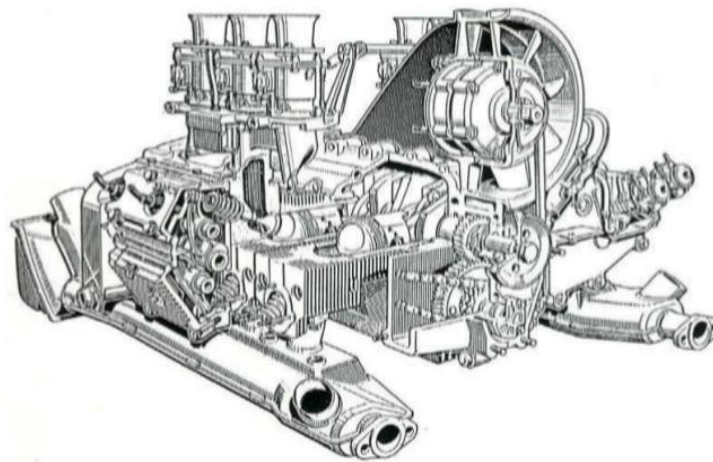


Figure (2.1) : Moteur Porsche type 911 à refroidissement par air

Le refroidissement par air, qui utilise des ventilateurs pour projeter l'air sur la culasse et les cylindres.

Néanmoins, la conductivité de l'air est approximativement 25 fois inférieure à celle de l'eau. Donc, pour garantir un refroidissement comparable, il faut accroître de façon significative la surface métallique en contact avec le liquide de refroidissement, ce qui est généralement

accompli grâce à l'utilisation d'ailettes. Ces ailettes requièrent un espace notable autour des cylindres.

La culasse et le bloc moteur sont dotés d'ailettes dont la fonction est d'offrir une plus grande surface de contact avec l'air.

Le système pneumatique a remporté un grand succès sur les moteurs d'avions, les moteurs 2 temps de mobylette, les systèmes PORSCHE, la Volkswagen, la Fiat 500 et la Citroën 2 CV en sont des illustrations typiques dans le domaine de l'automobile.

Avantage :

- Pas de risque de gel ou de corrosion.
- Moins de risque de panne.
- Moteur de constitution simple
- Moteur plus léger
- Entretien facile

Inconvénients :

- Moteur bruyant
- Moteur ne peut pas fonctionner en stationnaire (véhicule à l'arrêt) trop long temps
- Refroidissement irrégulier (vitesse, saison, altitude).

2.3.2 Le refroidissement par l'huile :

Tous les moteurs à combustion interne emploient un fluide pour la lubrification des composants en mouvement, l'huile qui s'écoule étant mise sous pression par une pompe. Il est donc nécessaire de faire passer ce fluide à travers les régions les plus chaudes et surtout d'en garantir un refroidissement approprié. Tous mettent en œuvre, d'une manière ou d'une autre, le système de refroidissement à huile : carter d'huile moteur inférieur avec ventilation, parfois équipé d'ailettes, et un modeste radiateur d'huile.

Exemples :

Des motos Suzuki dotées de quatre cylindres, ainsi que le moteur à deux cylindres à plat de la Citroën 2 CV, font appel à un système de refroidissement hybride air-huile, intégrant un radiateur d'huile.

- a) **avantages** : Les conduites, la pompe, le radiateur autonome et le fluide, propres au système de refroidissement, perdent leur utilité. Cela entraîne une réduction significative du poids et une simplification de la conception.
- b) **Inconvénient** : L'eau conduit mieux la chaleur que l'huile, et les particularités de ces dernières entraînent un coût plus élevé pour l'utilisateur.

En outre, l'efficacité du graissage du moteur peut être réduite en raison des pertes de charges liées à la circulation dans le radiateur d'huile.

2.3.3 Le refroidissement par eau :

❖ La circulation du liquide de refroidissement :

Le liquide de refroidissement se déplace à travers le bloc-cylindres et remonte à la culasse via les ouvertures dans le joint de culasse. Il est ensuite éliminé par une durite (tuyau en caoutchouc) qui guide le liquide vers un radiateur. Ce radiateur est constitué de plusieurs petits passages, qui sont en contact avec des ailettes, conçues pour maximiser la surface tout en occupant le moins d'espace possible.

Le flux d'air - fourni par le ventilateur - passe à travers les lamelles et dissipe la chaleur accumulée dans le liquide de refroidissement, donc le refroidir.

À mesure qu'il se refroidit, le liquide descendra dans le radiateur et atteindra la durite située en bas. Cette durite est connectée à la partie inférieure du moteur. Une fois dans le bloc, l'eau va de nouveau s'échauffer, remonter vers le haut du moteur, traverser le radiateur et ainsi de suite...

L'objectif de l'ajustement du circuit d'eau est de garantir une distribution adéquate du flux d'eau et d'accroître la rapidité du liquide autour des zones réchauffées des cylindres et de la culasse. Cette calibration est effectuée en ajustant le diamètre des orifices à travers lesquels l'eau s'écoule dans le joint de culasse.

❖ Les composantes du circuit de refroidissement :

Le système comprend principalement un échangeur de chaleur (radiateur), un vase d'expansion, un aérotherme (radiateur de chauffage), une conduite en caoutchouc (durites), une pompe à eau, un ventilateur, un thermostat et du liquide de refroidissement.

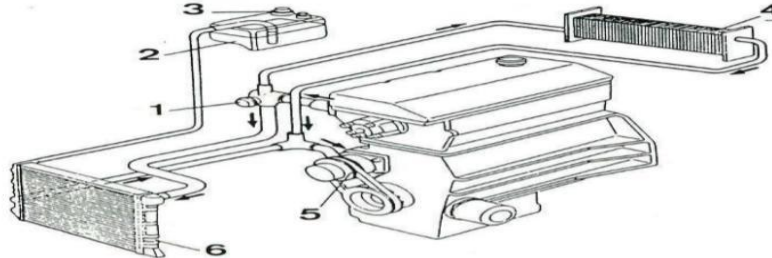


Figure (2.2) : Circuit du liquide de refroidissement avec dégazage par vase d'expansion

1. Thermostat
2. Vase d'expansion
3. Bouchon avec clapet taré à une certaine pression
4. Aérotherme
5. Pompe à eau
6. Radiateur
7. Le ventilateur

☒ Le thermostat :



Figure (2.3): Le thermostat

Pour garantir un réchauffement rapide du moteur, il est nécessaire d'éviter la circulation du liquide de refroidissement à travers le radiateur en dessous d'une certaine température. Le

thermostat, positionné dans le moteur à l'endroit de la durite supérieure du radiateur, joue ce rôle. Le rôle du thermostat est de garder le liquide de refroidissement (et par conséquent, le moteur) à une température appropriée pour son fonctionnement. Il faut préciser que le thermostat du moteur n'est pas connecté au sélecteur de température, lequel est contrôlé par le conducteur. Quand le moteur est à basse température, le thermostat reste fermé, ce qui implique que le fluide de refroidissement ne s'écoule qu'à travers le moteur et le radiateur de chauffage, sans traverser le radiateur de refroidissement. Cela donne la priorité au réchauffement du moteur ainsi qu'à l'efficacité du dégivreur et de la chaufferette à l'intérieur du véhicule. Quand le moteur atteint sa température idéale de fonctionnement, le thermostat s'ouvre progressivement pour autoriser le passage du liquide de refroidissement à travers le radiateur, afin d'éviter une montée supplémentaire de la température. Tandis que le moteur reste en marche, le thermostat gère constamment le circuit du liquide de refroidissement vers le radiateur afin d'assurer que la température de fonctionnement du moteur demeure idéale. Par exemple, le thermostat s'active lorsque la température du moteur monte et se désactive lorsque le moteur se refroidit.

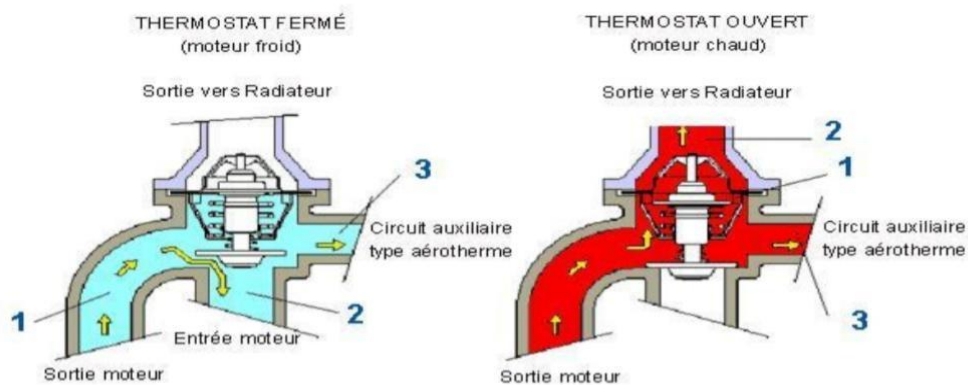


Figure (2.4) : représente l'ouverture et la fermeture de thermostat

❖ Thermostat en sortie culasse:

Quand l'eau atteint la température d'ouverture du thermostat (environ 88°C), ce dernier commence à s'ouvrir. Le radiateur reçoit de l'eau chaude tandis que le moteur est alimenté en eau froide. Cette eau froide devra parcourir l'ensemble du moteur avant d'arriver au thermostat.

❖ Thermostat en entrée moteur :

Dans cette situation, le thermostat est positionné juste avant la pompe. Le système by-pass, dont la présence est essentielle, fournit l'information sur la température de la culasse. Le bulbe du thermostat mesure la température du mélange (eau de retour du radiateur et eau d'arrivée par déviation).

Le circuit provenant du radiateur sera ouvert lorsque la température de la culasse atteindra l'indice du thermostat (environ 83°C).

☒ Vase d'expansion :

Figure (2.5): vase d'expansion

C'est un récipient d'excédent, il sert de réservoir pour le liquide de refroidissement lorsqu'il se dilate ou se rétracte. Quand le liquide de refroidissement chaud arrive au radiateur, il se dilate et l'excès de liquide est acheminé vers ce réservoir. Par contre, quand le radiateur se refroidit, le liquide qu'il contient se contracte et crée un vide à l'intérieur ; ce manque est ensuite comblé par l'entrée de liquide de refroidissement en provenance du même réservoir. Étant donné que les dépôts du circuit de refroidissement ont tendance à s'accumuler dans le réservoir, un nettoyage de celui-ci est nécessaire lors du remplacement du liquide de refroidissement.

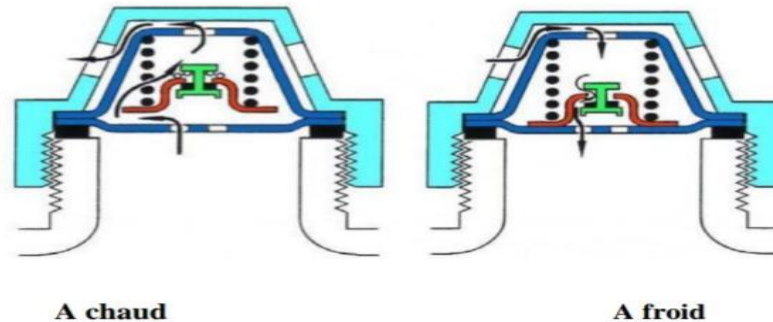
☒ Bouchon avec clapet taré à une certaine pression :

Figure (2.6) : représente l'ouverture et fermeture de La soupape du vase d'expansion

Lorsque le liquide se réchauffe, son volume en eau s'accroît, et une partie du liquide contenu dans le radiateur va remplir le vase. La pression de l'air contenue dans le récipient au-dessus du liquide s'accroît. Dès qu'une pression atteignant 0.8 à 1.2 bar est atteinte, le dispositif de régulation de pression se déclenche pour maintenir la pression maximale dans le récipient.

Lorsque le liquide se refroidit, son volume se réduit, et une portion de celui-ci s'échappe du récipient pour retourner au radiateur. Dans le vase, la pression de l'air diminue et si elle tombe en-dessous d'un certain seuil, cela crée un état de dépression. Le petit clapet s'ouvre, permettant à une certaine quantité d'air nécessaire pour atteindre une pression minimale d'entrer dans le vase.

☒ Aérotherme (Le radiateur de chauffage) :

Figure (2.7) : Aérotherme

Se trouve un petit dispositif positionné sous le tableau de bord à l'intérieur du véhicule. Le contrôleur de température sur le tableau de bord gère la valve de contrôle thermique située dans le compartiment moteur. Quand vous réglez le bouton sur la position chaude, la soupape de contrôle de température se déclenche, autorisant l'écoulement du liquide de refroidissement du moteur à travers le radiateur de chauffage et à élever la température intérieure du véhicule. Par contre, si vous ajustez le bouton de température vers une position froide, la valve se ferme, laissant l'air frais du système de climatisation (s'il y en a un dans le véhicule) passer par le radiateur de chauffage et refroidir ainsi l'intérieur du véhicule.

☒ La pompe à eau :

La mission de la pompe à eau est de propulser le liquide de refroidissement à travers le moteur et le radiateur, dans le but d'éliminer la chaleur. Généralement, la pompe est actionnée par une poulie associée en rotation au vilebrequin via une courroie. La pompe à eau se compose de deux éléments :

Augmente la circulation d'eau" crée par l'effet thermosiphon dans le radiateur de refroidissement.

Les pompes à eau fonctionnent sur le principe de la centrifugation et sont entraînées par des courroies. La force centrifuge expulse le liquide vers la périphérie des aubes, générant une aspiration à l'entrée.

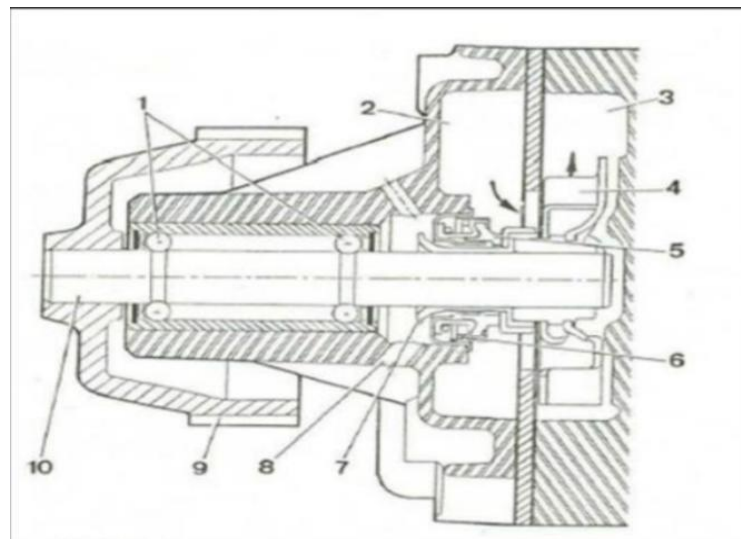


Figure (2.8): schéma de composant de la pompe à eau

1. Roulement à billes
2. Zone d'arrivée d'eau
3. Zone de refoulement de l'eau 'étanchéité
4. Turbine
5. Bague
6. Ressors
7. Déflecteur, Turbo-Joins,
8. Trou d'évacuation
9. Poulie d'entraînement
10. Arbre



Figure (2.9): la pompe à eau

Circuler le liquide à travers le système de refroidissement et le moteur. La pompe est généralement mise en marche soit par une courroie placée sur la poulie du bras de manivelle, soit par une courroie de distribution qui fonctionne à peu près à la même vitesse que le moteur.

☒ Le radiateur :



Figure (2.10): le radiateur

C'est l'élément central du système de refroidissement. Le liquide de refroidissement passe à travers le faisceau interne du radiateur, transférant sa chaleur aux ailettes métalliques qui enveloppent le faisceau. L'air, fourni par le ventilateur, traverse les ailettes et dissipe la chaleur emmagasinée dans le fluide de refroidissement.

☒ La jauge de température :

Positionnée sur le tableau de bord, elle est connectée à un capteur installé sur le moteur. Ce capteur détecte les fluctuations de résistance électrique lors du chauffage du moteur et permet une surveillance exacte de la température du moteur.

☒ Le liquide de refroidissement :

Habituellement, elle est de couleur vert sombre, mais certaines formules récentes peuvent avoir une teinte rouille. Il est essentiel d'employer un liquide de refroidissement spécifiquement préconisé pour votre type de véhicule. Par ailleurs, il est impératif de ne pas combiner différents types de réfrigérants.

Le liquide de refroidissement doit avoir plusieurs caractéristiques :

- Il ne doit pas être exposé à une température aussi froide que celle qui pourrait être atteinte dans la région. Les récipients d'antigel affichent généralement un guide précisant le ratio eau-antigel à mettre en œuvre pour une protection efficace.
- Il est nécessaire qu'il préserve son intégrité contre la rouille et la corrosion.
- Sa stabilité chimique doit être assurée, sans dégradation due à l'« usure ».
- Il doit être coulant.
- Il doit rapidement capter et libérer la chaleur.
- Et au final, il ne doit pas faire de mousse.

La majorité des marques d'antigel réputées, contenant de l'éthylène glycol, garantissent une protection efficace pendant un intervalle pouvant atteindre deux ans. Au-delà de cette période (qui peut être plus courte selon les fabricants), il est nécessaire de :

- Purger le circuit
- Le remplir avec de l'eau propre
- Faire fonctionner le moteur pendant environ dix minutes
- Éliminer l'eau

- La substituer par une nouvelle solution d'eau-antigel.

Si l'antigel est stocké plus longtemps, toutes les caractéristiques précitées se dégradent progressivement. La rouille et la corrosion causent progressivement des dommages et après quelques années, le radiateur commence à fuir.

En outre, l'antigel peut ne plus garantir une défense efficace contre le gel, et dans certains cas, il pourrait entraîner la rupture du bloc-moteur.

☒ Les durites du radiateur :

Ces conduits relient le haut et le bas du radiateur au moteur, permettant ainsi à l'agent de refroidissement de circuler du moteur vers le radiateur et vice versa.

☒ Le ventilateur :



Figure (2.11): le ventilateur

Installées près du radiateur, les pales du ventilateur contraignent l'air à traverser celui-ci, prévenant ainsi une éventuelle surchauffe lors des déplacements à faible vitesse. Il peut être entraîné de manière mécanique grâce à une courroie. Généralement, c'est un petit moteur électrique qui est commandé par une sonde installée sur le radiateur. Ce mécanisme active le ventilateur lorsque la température dépasse les 100°C. Un dysfonctionnement de ces composants entraîne une surchauffe lorsque le véhicule circule à basse vitesse ou est immobilisé.

2.4 Avantages et inconvénients du système :

❖ **Avantage:**

- Moteur moins bruyant
- Refroidissement mieux contrôlé
- Meilleur rendement

❖ Inconvénients :

- Moteur plus lourd
- L'aménagement du circuit de refroidissement rend sa mise en œuvre plus difficile

2.5 Pannes du système de refroidissement:

Pannes courantes :

2.5.1 Surchauffe du moteur :

❖ Causes :

- Niveau insuffisant de liquide de refroidissement.
- Obstruction du radiateur.
- Défaillance de la pompe à eau.
- Thermostat défectueux.
- Fuite dans le circuit de refroidissement.

❖ Symptômes :

- Indicateur de température élevé sur le tableau de bord.
- Émission de vapeur du moteur.
- Perte de puissance du moteur.

❖ Solutions :

- Vérifier et compléter le liquide de refroidissement si nécessaire.
- Nettoyer ou remplacer le radiateur obstrué.
- Vérifier et remplacer la pompe à eau si elle est défectueuse.
- Remplacer le thermostat en cas de dysfonctionnement.
- Détecter et réparer les fuites.

2.5.2 Fuite de liquide de refroidissement :

❖ Causes :

- Durites endommagées.
- Raccords de tuyauterie défectueux.
- Radiateur ou vase d'expansion percé.

❖ Symptômes :

- Baisse du niveau de liquide de refroidissement.

- Présence de flaques de liquide sous le véhicule.

❖ **Solutions :**

- Vérifier et remplacer les durites ou raccords endommagés.
- Réparer ou remplacer le radiateur ou le vase d'expansion.

2.5.3 Thermostat défectueux :

❖ **Causes :**

- Dysfonctionnement interne du thermostat.

❖ **Symptômes :**

- Surchauffe anormale du moteur.
- Refroidissement insuffisant.

❖ **Solutions :**

- Remplacement du thermostat défectueux.

2.5.4 Défaillance de la pompe à eau :

❖ **Causes :**

- Usure des pales
- Dysfonctionnement du moteur

❖ **Symptômes :**

- Refroidissement insuffisant
- Surchauffe

❖ **Solutions :**

- Remplacement de la pompe

2.5.5 Obstruction du radiateur :

❖ **Causes :**

- Dépôts
- Absence d'entretien régulier

❖ **Symptômes :**

- Augmentation de la température du moteur

❖ **Solutions :**

- Nettoyage ou remplacement du radiateur

2.6 Système de lubrification et de graissage:

Le frottement est défini comme la résistance au mouvement entre deux surfaces en contact, accompagnée de l'usure des pièces mobiles, ce qui entraîne une augmentation du jeu entre ces surfaces, ainsi qu'une perte d'énergie et une élévation de la température. Cela a nécessité la présence d'une fine couche de film d'huile à haute viscosité entre les surfaces, de manière permanente, sous les températures normales du moteur.

2.6.1 Les principales fonctions et missions du système de lubrification du moteur sont les suivantes :

- Réduire le frottement entre les pièces mobiles.
- Absorber et dissiper la chaleur.
- Remplir les espaces entre les segments de piston et les parois du cylindre.
- Nettoyer et refroidir les pièces mobiles.
- Contribuer à la réduction des bruits gênants du moteur.

☒ Le frottement.

Le déplacement des organes mobiles dans un moteur engendre des frottements:

- Les éléments soumis au frottement :

Mouvement	Organes	Sens de déplacement
Rectiligne alternatif	<ul style="list-style-type: none">• piston dans le cylindr• poussoir dans le bloc cylindre	Haut Bas
Oscillant	<ul style="list-style-type: none">• axe de piston• culbuteurs	Bascule Balancement
Circulaire continue	<ul style="list-style-type: none">• Vilebrequin• arbre à cames	rotation

Tableau (2.1) : Les éléments soumis au frottement

☒ Le frottement à sec :

Les deux pièces A et B sont directement en contact sans

Interposition d'huile

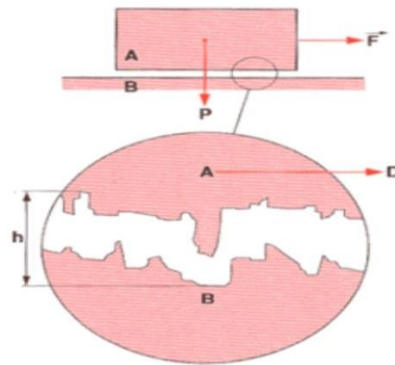


Figure (2.12) : Ex : embrayage, tambour de freins, etc...

☒ Le frottement gras :

Appelé également lubrification limitée ou graissage onctueux ou visqueux.

Pour améliorer le glissement entre les deux pièces A et B, on a recours à une simple couche de lubrifiant (l'épilamen).Le renouvellement de l'huile est assuré par barbotage ou simple écoulement. Ce système de graissage convient pour certains éléments du moteur ainsi qu'aux organes de transmission

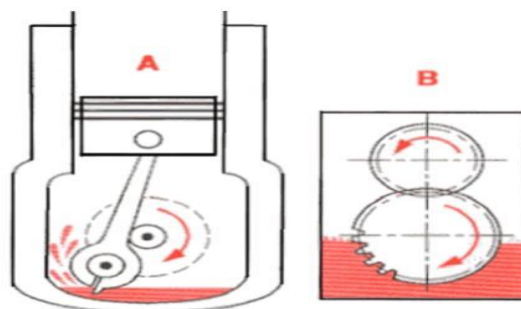


Figure (2.13) : EX : frottement du piston sur le cylindre

☒ Le frottement fluide ou hydrodynamique :

Les deux pièces A et B sont séparées par une couche de lubrifiant appelée « film d'huile », dont le débit est abondant et suffisant pour isoler complètement les surfaces métalliques

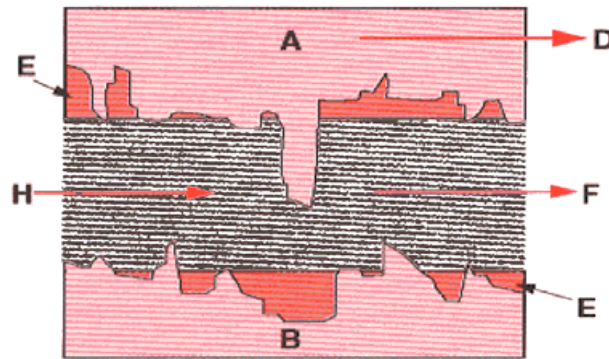


Figure (2.14) : Ex : la portée de vilebrequin sur son palier

2.6.2 Types de graissage :

a) Le graissage ordinaire sous pression :

L'huile provenant de la rampe principale de graissage est dirigée par des canaux vers les paliers de vilebrequin. Les rainures des coussinets et un canal oblique permettent le graissage sous pression des têtes de bielle. L'huile retombe dans le carter inférieur à partir des manetons et des tourillons.

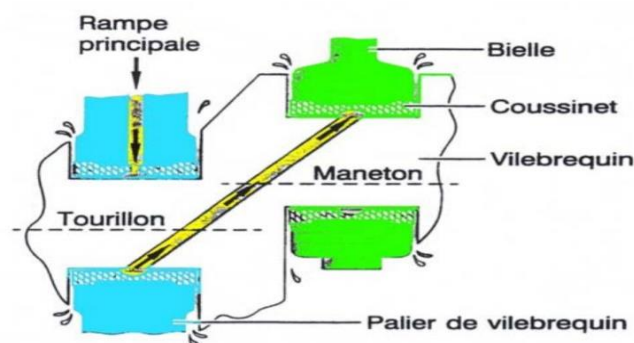


Figure (2.15) : Le graissage ordinaire sous pression

b) Le graissage intégral :

C'est l'équivalent d'un graissage ordinaire, mais en plus, l'axe de piston est graissé sous pression grâce à un perçage pratiqué dans le corps de bielle.

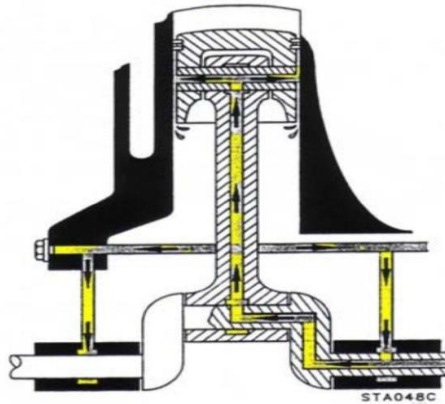


Figure (2.16) : Le graissage intégral

c) Le graissage par projection :

L'huile sous pression s'échappant des manetons est projetée le long des parois de la chemise. Elle assure ainsi le graissage entre le piston et la chemise, ainsi que l'axe de piston.

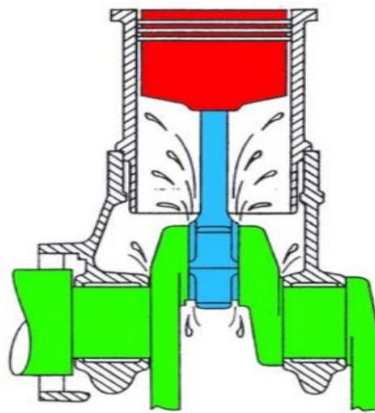


Figure (2.17) : Le graissage par projection

2.7 Caractéristiques et classifications de la lubrification :

Les huiles sont des substances inflammables constituées de composés hydrocarbonés, qu'elles soient d'origine végétale ou minérale, selon leur source. Des additifs chimiques améliorants leur sont ajoutés.

Pour que les huiles moteur remplissent leur fonction de manière optimale, elles doivent posséder les caractéristiques suivantes :

- Densité spécifique comprise entre 0,73 et 0,98, inférieure à celle de l'eau, ce qui lui permet de flotter et de rester à l'état liquide aux températures de fonctionnement du moteur.
- Viscosité appropriée : Une résistance élevée à l'écoulement, conforme aux recommandations du fabricant du tracteur agricole, tout en assurant une fluidité suffisante pour former une fine couche entre les pièces mobiles.
- Point d'inflammation élevée : L'huile brûle à des températures supérieures à celles atteintes par le moteur, soulignant ainsi l'importance du refroidissement du moteur.
- Insoluble dans l'eau mais soluble dans le pétrole blanc et le gasoil.
- Résistance à l'oxydation et à la corrosion, empêchant la formation de mousse (bulles) due à l'oxydation.
- Capacité à maintenir une viscosité élevée sous différentes conditions de fonctionnement.
- Pureté chimique : Exempte d'acides corrosifs, de substances gommeuses et d'impuretés étrangères pouvant nuire aux composants métalliques du moteur.

Les huiles sont classées en fonction de leur viscosité ainsi que de leur utilisation dans différents moteurs. La Société des ingénieurs de l'automobile (SAE) a adopté une classification permettant de choisir le degré de viscosité approprié, que ce soit pour le moteur ou pour les systèmes de transmission. Cette organisation a établi des normes indiquant le niveau de viscosité de l'huile.

Par exemple, l'huile recommandée pour les moteurs des tracteurs est une huile diesel SAE 30 en hiver et SAE 40 en été, ou encore une huile SAE 20W-50, qui convient aussi bien aux saisons froides que chaudes. Les chiffres bas indiquent une faible viscosité (huile fluide), ce qui est adapté aux climats froids et aux moteurs soumis à des arrêts et redémarrages fréquents. En revanche, les chiffres élevés désignent une huile plus visqueuse, recommandée pour les environnements chauds ou les moteurs fonctionnant en continu sous des conditions de chaleur intense.

Si un bidon d'huile porte l'indication SAE 10W-30, cela signifie que sa viscosité est de 10 à froid et atteint 30 lorsque l'huile est chaude. La lettre "W" est l'abréviation de Winter (hiver) et est placée à côté du grade correspondant à la viscosité à basse température.

2.8 Méthodes de Lubrification :

Il existe trois méthodes de lubrification des différentes parties du moteur, à savoir :

2.8.1 La méthode de lubrification par éclaboussement continu :

Dans cette méthode, l'huile est placée dans le carter à un niveau déterminé de manière à ce qu'elle atteigne les pales fixées à l'extrémité large de la bielle (voir figure (2.18)). Lorsque le vilebrequin tourne, ces pales plongent dans l'huile, en prélèvent une certaine quantité et la projettent sur les paliers du vilebrequin, les parois du cylindre, ainsi que sur les extrémités grande et petite de la bielle, ainsi que sur l'axe du piston.

Cette méthode est principalement utilisée dans les moteurs de petite taille et de faible puissance.

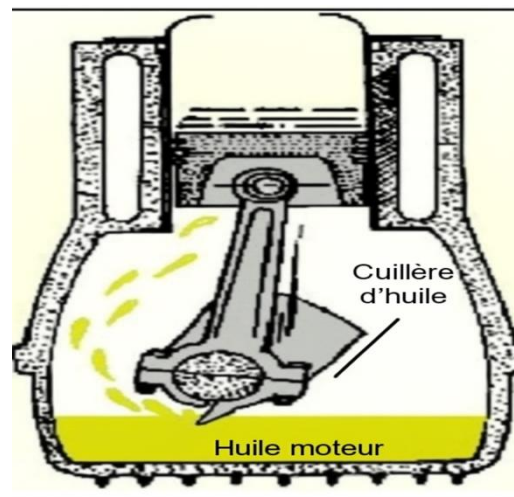


Figure (2.18) : La méthode de lubrification par éclaboussement continu

2.8.2 La méthode d'alimentation forcée interne et la pulvérisation :

Dans cette méthode, la pompe pousse l'huile directement dans le corps du moteur au lieu du bac de pulvérisation. De là, l'huile est acheminée à travers des passages vers les axes principaux, les axes de l'arbre à cames, l'arbre des culbuteurs et le filtre à huile, et enfin vers l'unité d'envoi de mesure de la pression d'huile.

2.8.3 La méthode d'alimentation forcée interne complète :

Cette méthode va une étape plus loin que la précédente, car l'huile est forcée à travers des canaux spéciaux, non seulement vers les axes du vilebrequin, mais aussi vers les culbuteurs, le

filtre à huile, puis vers l'unité d'envoi de mesure de la pression d'huile (figure 2.19). La pression de l'huile distribuée peut atteindre environ 3,5 kg/cm².

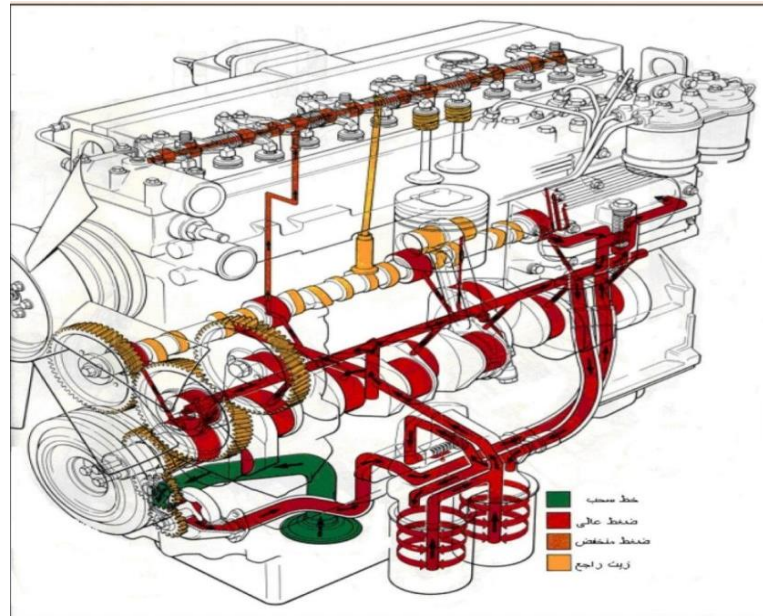


Figure (2.19) : La méthode d'alimentation forcée interne complète

2.9 Les composants du système de lubrification :

Le moteur est constitué de plusieurs pièces métalliques mobiles. Quelle que soit la finesse de ces pièces, le frottement résultant de leur contact direct pendant le mouvement génère une chaleur très élevée, ce qui entraîne l'usure des surfaces en contact. Il est donc essentiel de réduire ce frottement en interposant une fine couche d'huile entre elles, ce qui diminue à la fois l'usure et la chaleur.

L'explication ici se limitera à la méthode d'alimentation forcée interne complète (système de lubrification forcée), car c'est la plus courante. La (figure 2.20) illustre les principaux composants de ce système.

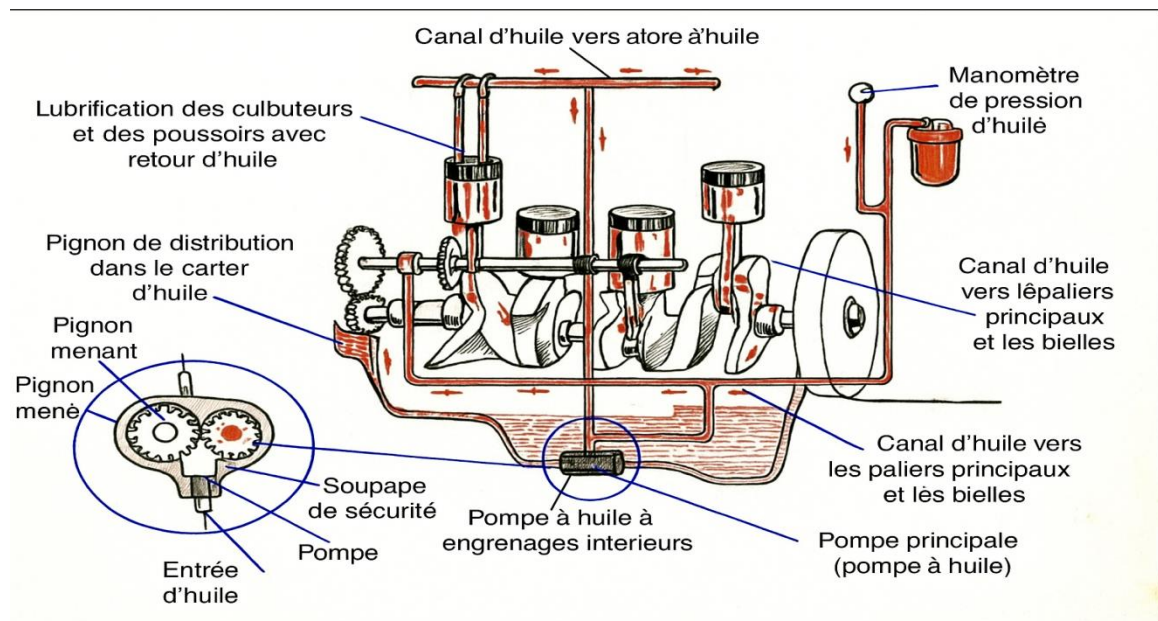


Figure (2.20) : Les composants du système de lubrification forcée.

2.10 Le système comprend les composants suivants :

1. **Pompe à huile :** Aspire l'huile de son réservoir, le fait passer à travers un filtre, puis la pompe dans les conduits du circuit de lubrification pour atteindre les pièces nécessaires. Elle est généralement de type à engrenages.
2. **Filtre d'aspiration (métallique) :** Retient les impuretés fines et les particules métalliques, empêchant leur entrée dans la pompe et évitant ainsi d'endommager celle-ci.
3. **Soupape de pression :** Maintient une pression stable dans le circuit et renvoie une partie de l'huile en cas d'augmentation de la vitesse du moteur.
4. **Filtre à huile :** Retient les particules fines en suspension dans l'huile. Il doit être remplacé selon les intervalles recommandés par le fabricant.
5. **Manomètre de pression d'huile :** Indique la pression de l'huile dans le circuit de lubrification. Il doit être placé dans un endroit visible pour le conducteur.
6. **Réservoir d'huile :** Généralement intégré au carter moteur. Il est essentiel de vérifier le niveau d'huile quotidiennement avant et après utilisation.

2.11 Types de pompes à huile :

Dans les moteurs des tracteurs, l'un des deux types de pompes à huile est utilisé, comme illustré à la figure (2.21), et se présente comme suit :

2.11.1 Pompes à engrenages externes :

La pompe est entraînée mécaniquement et prend son mouvement de l'arbre à cames du moteur. Elle contient deux engrenages engrenés, fixés à l'intérieur du corps de la pompe. L'arbre de la pompe entraîne l'un des engrenages, qui à son tour fait tourner l'autre engrenage.

2.11.2 La pompe rotative :

La pompe à engrenages internes est un type spécifique de pompe rotative. Elle est entraînée mécaniquement par le vilebrequin et présente une conception simple. Elle est composée d'un rotor denté interne qui tourne à l'intérieur d'une bague dentée fixe.

Lors du fonctionnement, le rotor interne tourne à l'intérieur de la bague du rotor fixe. Il possède un nombre de dents inférieur d'une unité par rapport à celui de la bague du rotor fixe, ce qui crée un mouvement fluide permettant d'aspirer et de refouler l'huile efficacement.

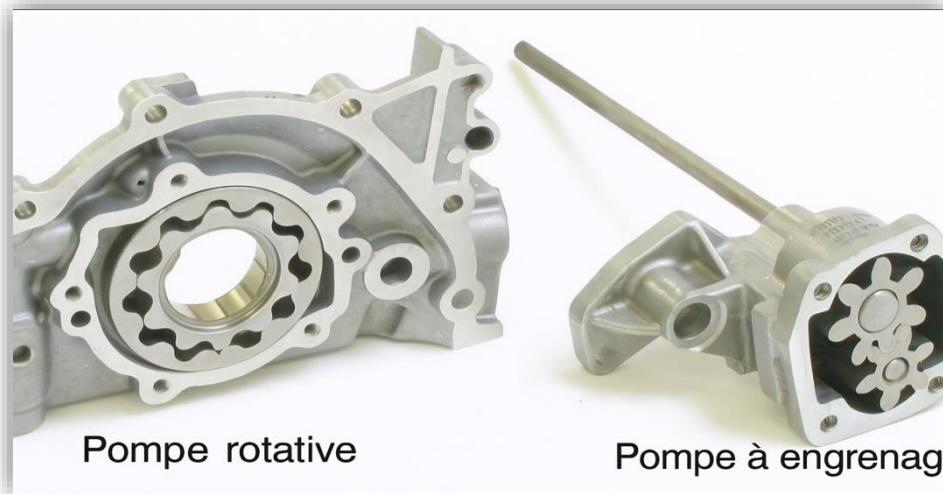


Figure (2.21) : Types de pompes à huile.

Identification des principaux composants du système de lubrification du moteur du tracteur

❖ Étapes du travail :

1. Ouvrir le bouchon de vidange de l'huile après avoir placé un récipient de vidange sous le carter pour recueillir l'huile usagée.

2. Ouvrir le filtre à huile (figure 2.22) et retirer l'ensemble de filtration (dans le cas d'un filtre fixe).



Figure (2.22): Méthode d'ouverture du filtre à huile.

3. Dévisser les boulons de fixation du carter inférieur du moteur à l'aide d'une clé appropriée (figure 2.23).



Figure (2.23) : Méthode d'ouverture du réservoir d'huile.

4. Retirer la pompe à huile en dévissant les boulons qui la fixent au bloc moteur (figure 2.24). Observer les engrenages de la pompe, puis démonter le filtre à grille qui y est rattaché.



Figure (2.24) : Démontage de la pompe à huile.

5. Remonter les composants en suivant l'ordre inverse du démontage, en veillant à remplacer les joints d'étanchéité (comme le joint du réservoir d'huile).

Après le démontage et le retrait des pièces selon les étapes précédentes, celles-ci seront identifiées comme suit :

1 - Le carter d'huile :

C'est le réservoir d'huile du moteur, fixé sous le bloc moteur à l'aide de boulons et d'un joint en liège pour assurer l'étanchéité (figure 2.25).

Au fond du carter, des plaques transversales servent de barrières pour réduire les turbulences et les vagues d'huile, empêchant son accumulation en un seul point lors des montées ou descentes du tracteur.

Le carter comporte une ouverture de vidange fermée par un bouchon. Dans certains véhicules, l'huile est refroidie ou réchauffée grâce à un réseau de tubes reliant le réservoir d'huile à un radiateur placé derrière le radiateur d'eau.

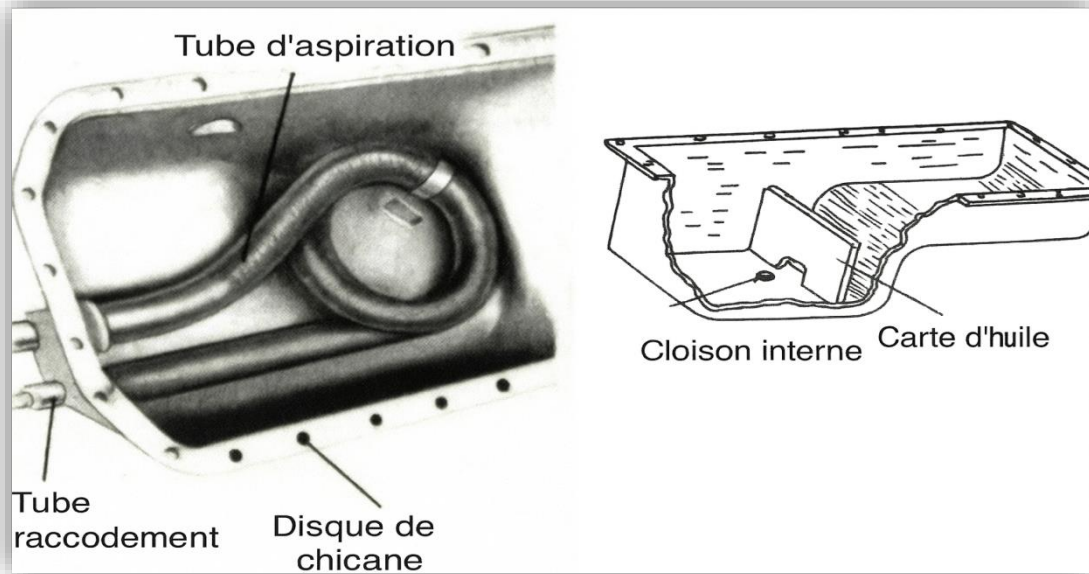


Figure (2.25) : Réservoir d'huile.

2 - Orifice de remplissage d'huile :

Situé généralement sur la partie supérieure du couvercle des cylindres du moteur, il permet d'ajouter de l'huile. Une jauge métallique flexible est reliée au réservoir d'huile pour vérifier le niveau d'huile. Elle comporte deux repères : un pour le niveau maximum et un pour le niveau minimum.

3 - Filtres à huile (Oil Filters) :

Les filtres à huile ont pour rôle d'éliminer les impuretés et les particules étrangères présentes dans l'huile, telles que les copeaux métalliques, la saleté et les résidus carbonés.

Le filtre à huile est fabriqué en tissu métallique fin, en matériau tissé, ou encore en papier ou en feutre. Il est généralement monté sur l'un des côtés du moteur et est relié à deux conduites :

Une petite conduite pour l'entrée de l'huile dans le filtre.

Une plus grande conduite pour la sortie de l'huile après filtration et nettoyage.

Les huiles courantes conservent leurs propriétés pendant 100 à 120 heures de travail normal. Toutefois, le filtre rotatif d'épuration de l'huile doit être nettoyé toutes les 50 heures de fonctionnement. Certains filtres sont entièrement remplaçables (figure 2.26)



Figure (2.26) : Filtre à huile remplaçable.

4 - Pompe à huile :

La pompe aspire l'huile à travers un filtre métallique pour empêcher l'entrée d'impuretés depuis le carter d'huile. Elle l'envoie ensuite vers le filtre à huile, puis à travers des conduits spécifiques vers les différentes parties du moteur.

(On peut ouvrir la soupape de sécurité de la pompe pour accéder au ressort et à la bille)
(Figure 2.27).



Figure (2.27) : A : Démontage de la soupape de sécurité de la pompe à huile.

B : Démontage de la pompe à huile.

5- Le tube principal de distribution d'huile :

C'est un long tube coulé en parallèle avec le carter du vilebrequin. Lorsque l'huile est pompée, elle circule à travers ce tube principal, puis se répartit vers les paliers et les autres composants du moteur.

(Il est possible de suivre le trajet de l'huile et d'observer les orifices répartis le long du vilebrequin.)

2.12 Pannes du système de lubrification et leurs causes:

Pannes courantes :

2.12.1 Baisse de pression d'huile :

❖ Causes :

- Fuite d'huile,
- filtre bouché,
- pompe défectueuse

❖ Symptômes :

- Usure rapide des pièces mobiles

❖ Solutions :

- Vérification n du niveau d'huile,
- changement du filtre
- réparation des fuites

2.12.2 Consommation excessive d'huile :

❖ Causes :

- Fuite
- problème au niveau des segments de piston

❖ Symptômes :

- Baisse des performances
- pollution

❖ Solutions :

- Vérification des segments,
- réparation des fuites

2.12.3 Contamination de l'huile :

❖ Causes :

- Mélange avec de l'eau,

- absence d'entretien régulier

❖ Symptômes :

- Diminution de l'efficacité de la lubrification,
- surchauffe

❖ Solutions :

- Vidange et remplacement de l'huile,
- contrôle du système de refroidissement

2.12.4 Blocage des canaux de lubrification :

❖ Causes :

- Dépôts,
- utilisation d'une huile de mauvaise qualité

❖ Symptômes :

- Mauvaise lubrification des pièces internes

❖ Solutions :

- Nettoyage des canaux,
- utilisation d'une huile de meilleure qualité

2.13 Conclusion:

À la fin de ce chapitre, nous avons examiné les différentes pannes pouvant affecter les moteurs diesel, avec une attention particulière portée sur les systèmes de lubrification et de refroidissement. Ces deux éléments jouent un rôle crucial dans la durabilité et la performance du moteur. Il est clairement ressorti que le manque d'entretien ou l'utilisation de fluides non conformes peut entraîner des dégradations graves, rendant la réparation ou le remplacement inévitables. Les pannes ont été classées selon leur gravité et leur impact, ce qui permet une évaluation technique rigoureuse avant toute analyse économique.

Chapitre 03 :
Étude économique – Réparation vs
Remplacement

Chapitre 03 : Étude économique – Réparation vs Remplacement

3.1 Introduction

Dans le cadre de l'entretien des moteurs diesel, notamment ceux utilisés dans les véhicules particuliers comme le Volkswagen Tiguan 1.6 TDI, les gestionnaires techniques et les utilisateurs se retrouvent souvent confrontés à un dilemme crucial : faut-il réparer le moteur existant ou le remplacer entièrement ?

Pour répondre à cette problématique, il est essentiel de bien distinguer les deux notions :

- La réparation consiste à diagnostiquer les défaillances, puis à restaurer les composants défectueux du moteur en les réparant ou en les remplaçant partiellement. Elle peut impliquer des opérations telles que le remplacement des segments, la rectification de la culasse, ou encore le changement de la pompe à huile. L'objectif est de prolonger la durée de vie du moteur tout en maîtrisant les coûts.

- Le remplacement, en revanche, implique le retrait total du moteur en panne, pour le substituer par un moteur neuf ou reconditionné (échange standard). Ce choix est généralement motivé par la gravité des dommages, la fréquence des pannes, ou encore le coût élevé des réparations successives.

Ce chapitre a pour objectif de comparer ces deux options à travers une analyse économique détaillée, en s'appuyant sur des données réelles liées au moteur Tiguan 1.6 TDI. Il inclura les coûts des pièces, de la main-d'œuvre, du temps d'immobilisation, ainsi qu'une étude comparative et des critères de décision pour guider le choix optimal selon la situation.

3.2 Coûts de réparation : pièces, main-d'œuvre, temps d'immobilisation

Les coûts de réparation d'un moteur Tiguan diesel comme le 1.6 TDI peuvent représenter un investissement important, selon la nature et la gravité des défaillances. Ces coûts sont généralement répartis en trois catégories principales :

* **Pièces de rechange** : elles comprennent les composants tels que la culasse, les segments de piston, les injecteurs, le turbo, Système de lubrification et de graissage, système de refroidissement, etc. Le coût des pièces peut varier en fonction de leur disponibilité et de leur origine (origine constructeur ou adaptables).

Chapitre 03 : Étude économique – Réparation vs Remplacement

* **Main-d'œuvre** : elle dépend du temps nécessaire pour démonter, diagnostiquer et réparer le moteur.

* **Temps d'immobilisation** : il correspond à la durée pendant laquelle le véhicule reste inutilisable. Dans le cas d'une utilisation professionnelle, cela peut engendrer des pertes financières importantes.

❖ **Radiateur :**

Prix estimatif (DA) : 30 000 - 60 000

Main-d'œuvre (DA) : 5 000 - 8 000

Durée estimée : 1 à 2 heures

❖ **Pompe à eau :**

Prix estimatif (DA) : 8 000 - 20 000

Main-d'œuvre (DA) : 5 000 - 8 000

Durée estimée : 2 à 3 heures

❖ **Thermostat :**

Prix estimatif (DA) : 3 000 - 8 000

Main-d'œuvre (DA) : 2 000 - 4 000

Durée estimée : 30 min à 1 heure

❖ **Ventilateurs :**

Prix estimatif (DA) : 20 000 - 50 000

Main-d'œuvre (DA) : 3 000 - 5 000

Durée estimée : 1 à 2 heures

❖ **Durites :**

Prix estimatif (DA) : 1 000 - 3 000

Main-d'œuvre (DA) : 1 000 - 2 000

Durée estimée : 30 minutes

❖ **Bouchon / Vase expansion :**

Chapitre 03 : Étude économique – Réparation vs Remplacement

Prix estimatif (DA): 1 500 - 3 000

Main-d'œuvre (DA): 500 - 1 000

Durée estimée: 10 à 15 minutes

❖ Capteur de température:

Prix estimatif (DA): 2 000 - 4 000

Main-d'œuvre (DA): 1 000 - 2 000

Durée estimée: 30 minutes

❖ Liquide de refroidissement:

Prix estimatif (DA): 1 500 - 3 000

Main-d'œuvre (DA): Gratuit ou 500

Durée estimée: 15 minutes

❖ Pompe à huile:

Prix estimatif (DA): 15 000 - 25 000

Main-d'œuvre (DA): 6 000 - 10 000

Durée estimée: 3 à 4 heures

❖ Filtre à huile:

Prix estimatif (DA): 800 - 1 500

Main-d'œuvre (DA): Gratuit ou 500

Durée estimée: 15 minutes

❖ Soupape de régulation:

Prix estimatif (DA): 4 000 - 8 000

Main-d'œuvre (DA): 2 000 - 4 000

Durée estimée: 1 heure

❖ Carter d'huile:

Prix estimatif (DA): 8 000 - 15 000

Chapitre 03 : Étude économique – Réparation vs Remplacement

Main-d'œuvre (DA): 3 000 - 5 000

Durée estimée: 1 à 2 heures

❖ Capteur de pression:

Prix estimatif (DA): 2 000 - 4 000

Main-d'œuvre (DA): 1 000 - 2 000

Durée estimée: 30 minutes

❖ Joints d'étanchéité:

Prix estimatif (DA): 4 000 - 7 000

Main-d'œuvre (DA): Dans le cadre du service du carter d'huile

Durée estimée: /

❖ Huile moteur (5W30/5W40):

Prix estimatif (DA): 1 000 - 2 000

Main-d'œuvre (DA): Gratuit ou 500

Durée estimée: 15 minutes

❖ Culasse :

Prix estimatif (DA): 100 000 - 150 000

Main-d'œuvre (DA): 15 000 - 50 000

Durée estimée: 1 à plusieurs jours

❖ Joint de culasse complet :

Prix estimatif (DA): 5 000 - 20 000

Main-d'œuvre (DA): 10 000 - 30 000

Durée estimée: 1 à 3 jours

❖ vilebrequin :

Prix estimatif (DA): 50 000 - 200 000

Main-d'œuvre (DA): 30 000 - 100 000

Chapitre 03 : Étude économique – Réparation vs Remplacement

Durée estimée: 2 jours à 1 semaine

❖ coussinets de vilebrequin :

Prix estimatif (DA): 3 000 - 15 000

Main-d'œuvre (DA): 10 000 - 30 000

Durée estimée: 1 à 2 jours

❖ joints spi de vilebrequin avant et arrière :

Prix estimatif (DA): 1 000 - 6 000

Main-d'œuvre (DA): 10 000 - 25 000

Durée estimée: 6 à 10 heures

❖ arbres à cames :

Prix estimatif (DA): 30 000 - 100 000 pour les 2

Main-d'œuvre (DA): 15 000 - 50 000

Durée estimée: 1 à 3 jours

❖ courroie de distribution et les galets (tendeurs /enrouleurs) :

Prix estimatif (DA): 8 000 - 25 000

Main-d'œuvre (DA): 8 000 - 20 000

Durée estimée: 3 à 6 heures

❖ soupapes d'admission :

Le moteur 1.6 TDI à 4 cylindres contient généralement deux soupapes d'admission par cylindre, soit un total de 8 soupapes d'admission.

Prix estimatif (DA): 500 - 3 000 pour 1 soupapes

Prix estimatif (DA): 4 000 - 24 000 pour 8 soupapes

Main-d'œuvre (DA): 15 000 - 50 000

Durée estimée: 1 à 3 jours

Chapitre 03 : Étude économique – Réparation vs Remplacement

❖ les bielles :

Prix estimatif (DA): 20 000 - 80 000

Main-d'œuvre (DA): 30 000 - 100 000

Durée estimée: 2 jours à 1 semaine

❖ les Pistons et Segments de piston :

Prix estimatif (DA): 30 000 - 100 000

Main-d'œuvre (DA): 30 000 - 100 000

Durée estimée: 2 jours à 1 semaine

❖ injecteurs :

Prix estimatif (DA): 5 000 - 35 000 pour 1 injecteurs

Prix estimatif (DA): 20 000 – 140 000 pour 4 injecteurs

Main-d'œuvre (DA): 5 000 - 15 000

Durée estimée: 3 à 5 heures

❖ Pompe haute pression / Pompe d'injection :

Prix estimatif (DA): 35 000 - 75 000

Main-d'œuvre (DA): 5 000 - 15 000

Durée estimée: 3 à 6 heures

❖ Filtre à gasoil :

Prix estimatif (DA): 8 000 - 15 000

Main-d'œuvre (DA): 2 000 - 4 000

Durée estimée: 30 minutes à 1 heures

❖ Turbo charger :

Prix estimatif (DA) : 60 000 - 150 000

Main-d'œuvre (DA): 8 000 - 15 000

Durée estimée: 4 à 8 heures

Chapitre 03 : Étude économique – Réparation vs Remplacement

❖ **Soupape EGR :**

Prix estimatif (DA): 15 000 - 40 000

Main-d'œuvre (DA): 3 000 - 8 000

Durée estimée: 2 à 4 heures

❖ **Filtre à air :**

Prix estimatif (DA): 3 000 - 8 000

Main-d'œuvre (DA): 500 - 1 000

Durée estimée: 15 minutes

❖ **Bougies de Préchauffage :**

Prix estimatif (DA): 5 00 – 1 500 Pour 1 bougie

Prix estimatif (DA): 2 000 – 6 000 pour 4 bougie

Main-d'œuvre (DA): 1 000 - 3 000

Durée estimée: 30 minutes à 1 heures

❖ **Relais de préchauffage :**

Prix estimatif (DA): 3 000 - 8 000

Main-d'œuvre (DA): 500 - 2 000

Durée estimée: 15 minutes à 30 minutes

Afin d'établir une estimation réaliste des coûts des pièces du moteur pour le véhicule Volkswagen Tiguan 1.6 TDI, un contact direct a été établi avec la représentation commerciale de Volkswagen Algérie, située à Dar El Beïda, Alger, le 15 mars 2025.

Lors de cet échange téléphonique, un responsable du service pièces de rechange a fourni une grille indicative des prix des composants principaux (courroie de distribution, pompe à eau, injecteurs, etc.).

Ces données, bien qu'obtenues oralement, sont considérées comme fiables et actualisées à la date du contact.

La référence utilisée dans le mémoire est indiquée comme suit :

Chapitre 03 : Étude économique – Réparation vs Remplacement

Volkswagen Algérie. (15 mars 2025). Communication personnelle. Représentation commerciale, Dar El Beïda, Alger.

Catégories	Minimum (DA)	Maximum (DA)	Durée total
Prix des pièces	656 800	1 397 500	-
Main-d'œuvre	174 500	460 000	-
Durée	-	-	74h à 200h (~9 à 25 jours)
Total	831 300	1 857 500	74h à 200h (~9 à 25 jours)

Tableau (3.1):Coût total de réparation

3.3 Coûts de remplacement : moteur neuf, moteur reconditionné, main-d'œuvre :

3.3.1 Moteur neuf :

Un moteur neuf est un moteur fabriqué récemment par le constructeur d'origine (OEM - Original Equipment Manufacturer). Il n'a jamais été utilisé ni mis en service. Ce type de moteur est assemblé avec des composants neufs, testés selon les normes du fabricant. Il offre une fiabilité maximale, des performances optimales, et est généralement accompagné d'une garantie constructeur. Bien que plus coûteux, il constitue le choix idéal lorsqu'on recherche la qualité maximale et une durée de vie longue.

Chapitre 03 : Étude économique – Réparation vs Remplacement

Prix : 2 000 000 à 3 500 000 DA

Main-d'œuvre : 100 000 - 150 000

Durée d'installation : 3 à 5 jours



Figure (3.1): moteur neuf.

Catégories	Minimum (DA)	Maximum (DA)	Durée total
Prix de moteur neuf	2 000 000	3 500 000	-
Main-d'œuvre	100 000	150 000	-
Durée	-	-	3 à 5 jours
Total estimé	2 100 000	3 650 000	3 à 5 jours

Tableau (3.2) : Coûts de remplacement : moteur neuf

Chapitre 03 : Étude économique – Réparation vs Remplacement

❖ **Avantage :**

- Longue Durée de vie
- Fiabilité
- Parfois avec garantie

❖ **Inconvénients :**

- coût très élevé

3.3.2 Moteur reconditionné (rénové) :

Un moteur reconditionné (ou rénové) est un moteur usagé qui a subi un processus complet de rénovation. Ce processus comprend le démontage complet du moteur, le nettoyage, l'inspection de toutes les pièces, le remplacement des composants défectueux ou usés (tels que les pistons, les segments, les joints, le vilebrequin, etc.), puis le remontage avec des tolérances respectant les spécifications d'origine. Bien qu'il soit moins coûteux qu'un moteur neuf, sa durée de vie et sa fiabilité dépendent fortement de la qualité du travail effectué lors du reconditionnement.

Prix : 1 200 000 à 2 500 000 DA

Main-d'œuvre : 100 000 - 150 000 DA

Durée d'installation : 3 à 5 jours



Figure (3.2):moteur reconditionné (rénové).

Chapitre 03 : Étude économique – Réparation vs Remplacement

Catégories	Minimum (DA)	Maximum (DA)	Durée total
Prix de moteur rénové	1 200 000	2 500 000	-
Main-d'œuvre	100 000	150 000	-
Durée	-	-	3 à 5 jours
Total estimé	1 300 000	2 650 000	3 à 5 jours

Tableau (3.3) : Coûts de remplacement : moteur reconditionné (rénové).

❖ **Avantage :**

- Moins cher
- Garantie partielle

❖ **Inconvénients :**

- Durée de vie inférieure Du neuf moteur
- Risqué de panne future

Chapitre 03 : Étude économique – Réparation vs Remplacement

3.4 Analyse comparative de cas réels :

Élément (DA)	Réparation complète (DA)	Remplacement moteur rénové (DA)	Remplacement moteur neuf (DA)
Coût des pièces	1 000 000	-	-
Coût du moteur	-	1 500 000	2 500 000
Main-d'œuvre	250 000	150 000	150 000
Durée d'arrêt de la voiture	25 jours	5 jours	3 jours
Total estimé	1 250 000	1 650 000	2 650 000

Tableau (3.4): Analyse Coûts Réparation vs Remplacement Moteur

Chapitre 03 : Étude économique – Réparation vs Remplacement

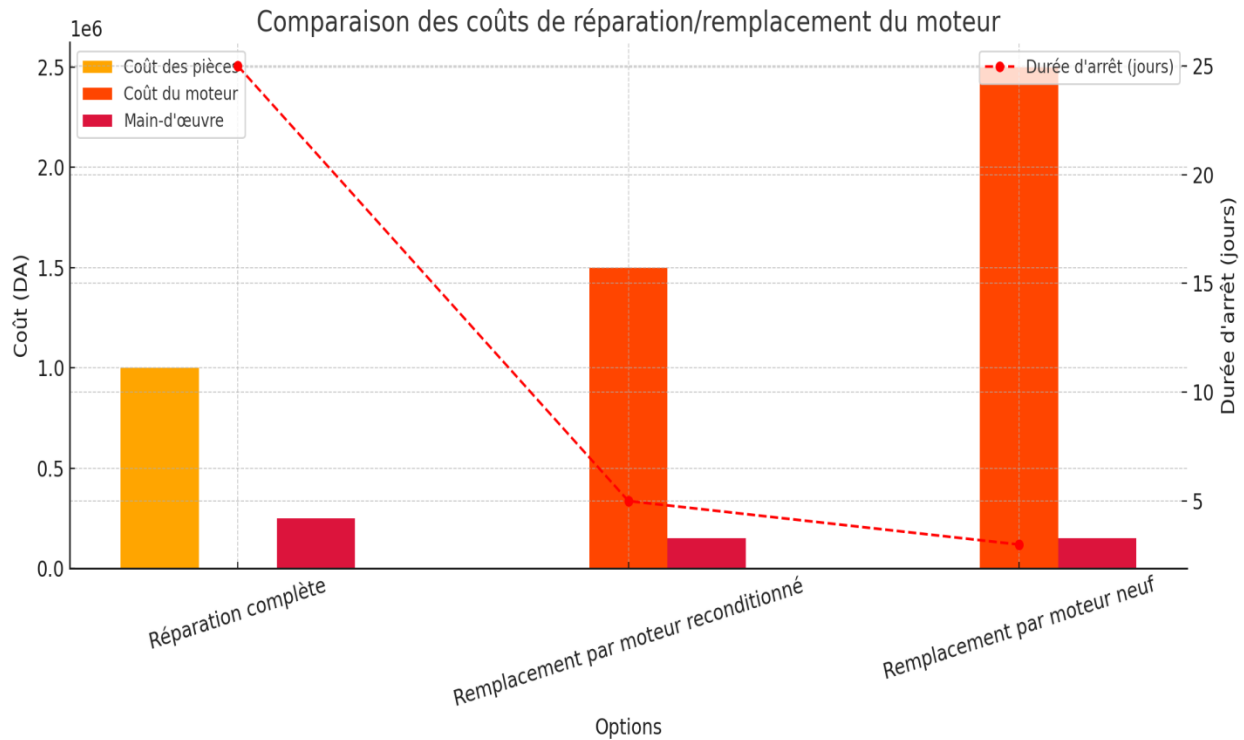


Figure (3.3) : Comparaison des coûts Réparation vs Remplacement Moteur

3.5 Critères de décision :

3.5.1 Valeur marchande du véhicule : Si la valeur actuelle du véhicule (après dépréciation) est inférieure ou proche du coût d'un moteur neuf, alors le remplacement par un moteur neuf n'est pas justifié.

Exemple :

- Valeur d'un Tiguan 1.6 TDI : environ 3 500 000 DA

- Coût moteur neuf : 2 500 000 DA

→ Le remplacement par un moteur neuf est économiquement non viable. Un moteur reconditionné (rénové) ou une réparation est préférable.

3.5.2 Coût de réparation par rapport à la valeur du véhicule :

Chapitre 03 : Étude économique – Réparation vs Remplacement

→ Si le coût des réparations dépasse un certain pourcentage de la valeur marchande du véhicule → le remplacement est conseillé.

Exemple :

- **Réparation** : 1 250 000 DA

- **Valeur voiture**: 3 500 000 DA

→ $1\,250\,000 / 3\,500\,000 = 35.7\%$, valeur marchande du véhicule.

3.5.3 Historique des pannes :

Le moteur a-t-il déjà connu plusieurs pannes comme :

- Fuite d'huile ?
- Vibrations excessives ?
- Problèmes de turbo ?

→ Plus les pannes sont fréquentes, plus le risque de nouvelles défaillances augmente, même après réparation.

3.5.4 Durée d'immobilisation :

Pour un usage professionnel (taxi, livraison...) :

- Chaque jour d'arrêt = perte financière directe
- Si la réparation prend 10 jours contre 3 jours pour le remplacement, cela penche en faveur du moteur reconditionné (rénové).

3.5.5 Garantie après intervention :

- Le moteur reconditionné peut avoir une garantie de 6 à 12 mois.
- Une réparation partielle ne garantit pas toujours un fonctionnement sans défaut.

Chapitre 03 : Étude économique – Réparation vs Remplacement

- Une garantie réduit le risque financier futur.

3.5.6 Âge du véhicule et kilométrage :

Situation	Recommandation
Moins de 5 ans et < 150 000 km	Réparation possible si bien réalisée
Entre 5 et 10 ans ou 150 000 – 250 000 km	Remplacement par un moteur reconditionné
Plus de 10 ans ou > 300 000 km	Vente ou achat d'un autre véhicule plus rentable

Tableau (3.5): État du véhicule et recommandations suggérées proposées

3.5.7 Disponibilité des pièces ou du moteur :

- Parfois, les pièces du 1.6 TDI sont rares ou chères.
- Si les composants ne sont pas disponibles, mieux vaut un moteur reconditionné (rénové) complet

3.5.8 Usage prévu du véhicule :

Usage	Choix recommandé
Quotidien normal	Réparation suffisante
Professionnel / long terme	Moteur reconditionné ou neuf
Revente prochaine	Réparation légère pour minimiser le coût

Tableau (3.6) : Usage prévu du véhicule et recommandations proposées

Résumé sous forme d'équation simple

Décision :

- Si coût réparation > 50 % valeur du véhicule

Chapitre 03 : Étude économique – Réparation vs Remplacement

- Ou pannes répétées
- Ou immobilisation longue

→ Alors le remplacement est préférable

3.6 Étude de rentabilité : quand le remplacement devient plus logique?

Un modèle simple d'aide à la décision :

- Si les coûts annuels de réparation $> 50\%$ de la valeur du véhicule, il est préférable de remplacer.
- Si la différence entre réparation et remplacement est $< 20\%$, et que l'immobilisation est critique → remplacement recommandé.
- Si qualité des pièces et main-d'œuvre fiable sont disponibles → réparation envisageable.

Cas du Tiguan 1.6 TDI :

Lorsque les pannes deviennent critiques (filtre à huile bouché, pompe à huile HS, coussinets usés), le remplacement par un moteur reconditionné (rénové) devient la solution la plus rationnelle économiquement.

3.7 Conclusion:

Ces chapitre a permis de développer une étude économique approfondie, basée sur une comparaison rigoureuse entre les coûts de réparation du moteur Tiguan 1.6 TDI et ceux de son remplacement par un moteur neuf ou reconditionné (rénové). Les résultats montrent que le choix optimal dépend de plusieurs critères tels que l'état actuel du moteur, le coût total des opérations et la durée de vie espérée après intervention. Les modèles de calcul et tableaux présentés constituent un outil d'aide à la décision précieux pour les professionnels et les propriétaires de véhicules, leur permettant d'optimiser les choix techniques et économiques en atelier.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Les moteurs diesel à injection directe ont été largement utilisés dans les applications lourdes. Récemment, ils sont devenus courants dans les applications légères en raison de leur rendement thermique élevé et de leurs faibles émissions de CO₂.

Dans ce travail, le premier chapitre présente des études antérieures sur le fonctionnement du moteur diesel à injection directe, sa structure et ses composants principaux, en plus des différents capteurs et actionneurs, avec une explication de leurs caractéristiques respectives.

En conclusion, on peut affirmer que le moteur diesel à combustion directe, équipé d'un système d'injection à haute pression, offre des performances supérieures à tous les autres types de moteurs thermiques, tout en réduisant la consommation de carburant et les émissions polluantes. Le deuxième chapitre traite des différentes pannes pouvant affecter les moteurs diesel, en mettant l'accent sur le système de lubrification et le système de refroidissement, considérés comme des éléments essentiels influant directement sur la durée de vie et les performances du moteur. L'étude a montré que la négligence de l'entretien périodique ou l'utilisation d'huiles et de liquides de refroidissement non conformes aux spécifications peut entraîner des dommages importants, augmentant ainsi la probabilité d'une décision de réparation majeure ou de remplacement complet. Les pannes ont été classées selon leur gravité et leur impact, ce qui permet une évaluation objective de l'état technique du moteur en vue d'une décision économique dans les chapitres suivants.

Le troisième chapitre présente une étude économique détaillée basée sur une comparaison précise entre les coûts de réparation du moteur de la Volkswagen Tiguan 1.6 TDI et les coûts de son remplacement par un moteur neuf ou reconditionné (rénové). Les résultats ont montré que le choix optimal ne peut pas être généralisé, mais dépend d'un ensemble de facteurs, tels que l'état actuel du moteur, le coût total de l'opération, et les prévisions de durée de vie du moteur après réparation ou remplacement. Les modèles de calcul et les tableaux fournis représentent un outil pratique aidant à prendre la meilleure décision sur la base de données précises, ce qui améliore la rentabilité des réparations dans les ateliers et contribue à des décisions éclairées de la part des propriétaires de véhicules.

Cette étude a également montré, à travers les modèles de calcul, que le remplacement devient l'option optimale lorsque les coûts de réparation dépassent un certain pourcentage de la valeur du véhicule, ou lorsque les pertes liées à l'arrêt du véhicule ont un impact direct sur l'activité

de l'utilisateur, comme c'est le cas pour les véhicules utilisés dans le transport ou les activités professionnelles quotidiennes.

D'un autre côté, l'importance de l'entretien préventif régulier ressort comme un facteur crucial pour prolonger la durée de vie du moteur et réduire la probabilité de devoir le remplacer. Cela met en évidence la nécessité de promouvoir une culture d'entretien régulier et d'adopter des normes de diagnostic précises.

RÉFÉRENCES

RÉFÉRENCES

- [1] Christophe Des voies, « L'injection Diesel " Common Rail" Delphi », mémoire professionnel, Génie Mécanique Session 2003.
- [2] Guy. Fillettaz, « classification des moteurs Diesel ».Document de la société Delphi 2002.
- [3] Serge Picard, « L'injection Diesel haute pression à rampe commune», dossier technique A.N.F.A « Association Nationale pour la Formation Automobile » édition 2001.
- [4] Gérard Delville, « Common rail», étude de conception dans La revue auto concept 2002.
- [5] <http://www.motorlegend.com>.
- [6] fvb • fc Constructiv. (août 2012). Moteurs à combustion : Description (F002CE – D/2011/1698/11). Bruxelles : fvb • fc Constructiv.
- [7] <http://www.techautoalgerie.wordpress.com>.
- [8] Les organes de moteur, Technologie automobile, Académie de Nancy-Metz, 2008.
- [9]<http://moteur-a-explosion.e-monsite.com/pages/le-moteur-essence-et-le-moteur-diesel.html>
- [10] BEHR HELLA service GMBH schwabisch Germany, refroidissement véhicule –un condensé de connaissances pour les garages,siteweb:www.behrhellaservice.com
- [11] Boudefoua et Hosni, simulation numérique d'un échangeur eau/sol couplé a un échangeur eau/air mémoire de fin d'étude, UMMTO promotion 2012/2013.
- [12] MM Fall,Guissé * Ba du L.T.I.D. de DAKAR, cour des technologie automobile site web : www.seneauto.com
- [13] Lawler, B. J. (2013). A methodology for assessing thermal stratification in an HCCI engine and understanding the impact of engine design and operating conditions (Doctoral dissertation, University of Michigan).
- [14] Ahmad, J. H. (n.d.). Lubrication system.University of Basrah. Retrieved from <https://faculty.uobasrah.edu.iq/uploads/teaching/1651953600.pdf>
- [15] Chorfi Sofiane, M. (2020). Graissage et Lubrification. Retrieved from https://www.mcours.net/cours/pdf/electro/Graissagelubrification_000.pdf.