

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

Ecole Nationale Polytechnique



Département Génie Mécanique

P0007/05B

**PROJET DE FIN D'ÉTUDES**

En vue de l'Obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Génie  
Mécanique



*Thème*

**RÉALISATION D'UN LOGICIEL  
INTERACTIF D'AIDE AU  
DIAGNOSTIC DE PANNES ET À  
LA RÉPARATION DU MOTEUR  
DIESEL**

Proposé et Dirigé par :  
Mr. BENBRAÏKA.M

Etudié par :  
SMATTI WALID

Promotion : 2004/2005

*Ecole Nationale Polytechnique 10, Avenue Hassen Badi BP182 El-Harrach  
16200 Alger (Algérie)*

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

## Ecole Nationale Polytechnique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

Département Génie Mécanique

### PROJET DE FIN D'ÉTUDES

En vue de l'Obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Génie  
Mécanique

*Thème*

# RÉALISATION D'UN LOGICIEL INTERACTIF D'AIDE AU DIAGNOSTIC DE PANNES ET À LA RÉPARATION DU MOTEUR DIESEL

Proposé et Dirigé par :  
Mr. BENBRAÏKA.M

Etudié par :  
SMATTI WALID

Promotion : 2004/2005

Ecole Nationale Polytechnique 10, Avenue Hassen Badi BP182 El-Harrach  
16200 Alger (Algérie)

**SUJET :** *Réalisation d'un logiciel interactif d'aide au diagnostic de pannes et à la réparation du moteur Diesel.*

**RESUME :** *L'objet de ce projet est la réalisation d'un logiciel interactif d'aide au diagnostic de pannes du moteur Diesel, qui fait partie des solutions nouvelles au problème de l'assistance informatique aux tâches de maintenance. Nous avons constaté que l'amélioration de la maintenance corrective utilisant l'outil informatique constitue un besoin réel et une source de profit importante. Une des tâches les plus délicates de la maintenance corrective est le diagnostic de pannes, c'est à ce niveau que se situe l'essentiel de ce mémoire ; réalisation d'un logiciel interactif qui peut devenir un outil efficace, fiable et rapide pour les mécaniciens spécialistes.*

**Mots clés :** Moteur Diesel, diagnostic, panne, logiciel, « diagodid », anatomie moteur, maintenance, entretien, logiciel interactif, système expert, informatique et mécanique.

**SUBJECT:** *Realization of interactive software of assistance to the breakdowns diagnosis and the repair of the Diesel engine.*

**ABSTRACT:** *The object of this project is to realize interactive software of assistance to the breakdowns diagnosis and the repair of the Diesel engine, such a system is considered to be a part of the new solutions for the problem of computer aid to the tasks of the correctional maintenance. We noted that the improvement of corrective maintenance using the data-processing tool constitutes a real need and an important source of profit. One of the most delicate tasks of correctional maintenance is the diagnosis of breakdowns, it is on this level that the essential of this memory; realization of an interactive software which can become an effective, reliable tool and rapid for the mechanics specialists.*

**الموضوع:** تحقيق برنامج معلوماتي بالتراجع للمساعدة على تشخيص الاعطاب و إصلاحها ضمن محرك الديازال.

**ملخص:** موضوع هذه الأطروحة هو تحقيق برنامج معلوماتي بالتراجع للمساعدة على تشخيص الاعطاب و إصلاحها ضمن محرك الديازال. و تعتبر مثل هذه الحبكة جزءا من الحلول الجديدة لمشكل الدعم المعلوماتي لمهام الصيانة / لتصحيحية. لقد تأكدنا أن تحسين الصيانة التصحيحية باستعمال النظام المعلوماتي, يشكل احتياجا حقيقيا و منبعا للاستفادة مهم جدا. من المهام الصعبة للصيانة التصحيحية تشخيص الاعطاب, لهذا القصد تتمثل أهمية هذه الأطروحة: تحقيق برنامج معلوماتي بالتراجع تستطيع أن تكون وسيلة هامة, منقحة, سريعة للميكانيكي المتخصص.

# Dédicace

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

*Je dédie ce modeste travail :*

- *A mes très chers parents qui m'ont toujours soutenu.*
- *A mes frères et sœurs : Chamssou, le petit Hakko, Khouloud, Sanna.*
- *A toute ma famille.*
- *A tous mes amis d'Ouled Djellal : Bouzid, Nanou, Yazid Djamel, Adel, Ziko, Youyou et Ibrahim Nanni, Moh mjakoine.*
- *A mon cousin Aimen, Lamine et à tous mes amis et collègues de Bouraoui : Zuergi Hamza, Zidani, Rafik Hnine, Adel JOK, Nabil, Chouli good, Amer, Tarif.*
- *A mes amis de Hassi-Messaoud : Sidou, Mourad, Samir, Hakim, Nasro, Youness, Amine, Okil.*
- *A Lamia.*
- *A tous qui me sont chers.*

*Dido*

# **REMERCIEMENT**

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
المكتبة — BIBLIOTHEQUE  
Ecole Nationale Polytechnique

نحمد الله الذي وفقنا لإتمام هذا العمل

*J'exprime ma profonde gratitude à mon promoteur, **Mr. BENBRAIKA**, pour ses conseils judicieux, son suivi attentif et sa confiance qui m'a été très précieuse, de plus je tiens à le remercier pour m'avoir assuré l'encadrement et la documentation nécessaire pour l'élaboration de ce mémoire.*

*J'adresse, aussi, mes vifs remerciements à **Mr. LARBI**, pour ses conseils qui m'ont été très utiles et très précieux, et qui m'a fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire.*

*Je tiens aussi à remercier, **Mr. BOUBAKEUR**, d'avoir accepté d'examiner mon travail.*

*Je tiens aussi à remercier, **Mr. TAZI**, d'avoir accepté d'examiner mon travail.*

*Mes remerciements vont à l'ensemble des enseignants et les membres du personnel de notre Département de mécanique pour leurs aides et leur disponibilité tout au long de notre cursus à l'ENP.*

*Aussi mes remerciements s'adressent à **Mr. LEMDELDEL** pour son aide et ses conseils judicieux, et aussi à **Mr. SAADI**.*

*Enfin, je remercie toute personne ayant contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.*

## SOMMAIRE

|  |           |
|--|-----------|
| <b>I. Introduction.....</b>  | <b>1</b>  |
| I.1 Généralités sur le diagnostic.....   | 1         |
| I.2 Un diagnostic s'appuyant<br>sur l'outil informatique s'avère t-il nécessaire ? ..... | 2         |
| I.3 Vers une interaction « Homme-Machine ».....  | 3         |
| <b>II. Anatomie du moteur Diesel.....</b>  | <b>4</b>  |
| II.1 Généralités .....   | 4         |
| II.2 Historique du moteur Diesel .....   | 5         |
| II.2.1 Chronologie.....  | 7         |
| II.3 Eléments et composants du moteur Diesel.....  | 9         |
| II.3.1 Le circuit d'alimentation .....   | 9         |
| II.3.1.1 Le circuit d'alimentation de la pompe basse pression .....                      | 9         |
| II.3.1.2 Le circuit d'alimentation de la pompe haute pression .....                      | 14        |
| II.3.2 Le circuit de lubrification.....  | 19        |
| II.3.2.1 Généralités .....   | 19        |
| II.3.2.2 Le système de graissage .....   | 20        |
| II.3.3 Le circuit de refroidissement .....   | 27        |
| II.3.3.1 Nécessité de refroidissement .....  | 27        |
| II.3.3.2 Système de refroidissement .....  | 28        |
| II.3.3.3 Les radiateurs.....   | 30        |
| II.3.3.4 Les ventilateurs .....  | 33        |
| II.3.3.5 Ventilation.....  | 34        |
| II.3.3.6 Régulation de la température.....   | 35        |
| II.3.4 Les organes mécaniques du moteur .....  | 37        |
| II.3.4.1 Généralités .....   | 37        |
| II.3.4.2 Les parties fixes du moteur .....   | 37        |
| II.3.4.3 Attelage mobile.....  | 40        |
| II.4 Démontage et remontage du moteur .....  | 47        |
| II.4.1 Les éléments du bloc-cylindres .....  | 47        |
| II.4.2 Les éléments d'embellages .....   | 47        |
| II.4.3 Les outils d'intervention .....   | 48        |
| II.4.4 Démontage du moteur .....   | 48        |
| II.4.5 Remontage du moteur .....   | 49        |
| <b>III. Anomalies et pannes de marche du moteur Diesel.....</b>                          | <b>52</b> |
| III.1 Définition .....   | 52        |
| III.2 Origines des pannes et des incidents de marche.....                                | 52        |
| III.3 Classification sommaire des causes de mauvais fonctionnement.....                  | 52        |
| III.4 Les pannes provenant du système d'injection .....                                  | 54        |
| III.4.1 Généralités.....   | 54        |
| III.4.2 Origine de mauvais fonctionnement .....  | 54        |
| III.4.3 Contrôle des injecteurs.....   | 55        |
| III.5 Les pannes provenant des organes mécaniques du moteur Diesel.....                  | 55        |
| III.5.1 Piston et segments.....  | 55        |
| III.5.2 Les bielles .....  | 56        |

|   |    |
|---|----|
| III.5.3 Le vilebrequin .....  | 56 |
| III.5.4 Le bloc-cylindres.....  | 57 |
| III.5.5 Soupapes et mécanisme de soupape.....   | 57 |
| III.5.6 Les pannes provenant du système de graissage (lubrification).....                         | 58 |
| III.5.7 Les pannes provenant du système de refroidissement .....                                  | 58 |
| <b>III.6 Récapitulation des principaux types de pannes</b><br>et incidents de fonctionnement..... | 60 |
| III.6.1 Pannes de démarrage .....   | 60 |
| III.6.2 Le moteur s'arrête de lui-même.....   | 60 |
| III.6.3 Manque de puissance .....   | 62 |
| III.6.4 Bruits anormaux.....  | 62 |
| III.6.5 Fumées excessives.....  | 63 |
| III.6.6 Pression d'huile anormale .....   | 64 |
| III.6.7 Echauffements anormaux .....  | 65 |
| III.6.8 Consommation excessive.....   | 66 |
| III.6.9 Anomalies d'injection.....  | 66 |
| III.6.10 Anomalies de suralimentation .....   | 67 |
| III.6.11 Instabilité de fonctionnement .....  | 68 |
| <b>IV. Conception et réalisation du logiciel « Diagodid ».....</b>                                | 69 |
| IV.1 Introduction.....  | 69 |
| IV.2 Architecture et caractéristiques du logiciel « Diagodid » .....                              | 69 |
| IV.2.1 C'est quoi DirectorMx ?.....   | 70 |
| IV.2.2 Structure de DirectorMx.....   | 70 |
| IV.2.3 Comment « Diagodid » a été réalisé.....  | 75 |
| IV.2.4 Stratégie du logiciel interactif « Diagodid ».....   | 77 |
| <b>V. Conclusion.....</b>   | 79 |

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

## CHAPITRE I

# Introduction





## I. Introduction :

Avant d'aborder le corps de ce mémoire de fin d'étude, il convient de présenter notre travail, de préciser les besoins, de déterminer nos objectifs, et de donner l'approche globale de cette étude.

### I.1 Généralités sur le diagnostic :

**L**e moteur Diesel est reconnu pour présenter l'un des meilleurs rendements énergétiques avec une remarquable flexibilité d'utilisation. Ses performances, qu'il s'agisse de sa puissance, de son rendement ou de ses émissions de polluants, sont particulièrement sensibles à la qualité de la combustion. Celle-ci est essentiellement liée au choix de bon fonctionnement du système d'injection, et aussi les autres organes du moteur Diesel.

Les connaissances que doit posséder un mécanicien spécialiste s'étendent au-delà du diagnostic du moteur Diesel. Il doit en particulier posséder une technique très approfondie du moteur Diesel car, mis en présence d'incidents de fonctionnement, son rôle sera de déterminer le défaut puis de le localiser.

Qu'il s'agisse de difficultés de mise en marche ou d'incidents de fonctionnement d'un moteur Diesel, la recherche des causes de ces anomalies nécessite un travail tenace et essentiellement méthodique. En procédant avec précision, en raisonnant avec calme, le mécanicien spécialiste devra obligatoirement et rapidement découvrir le ou les éléments perturbateurs.

Les troubles que l'on peut constater sur un moteur Diesel sont, en général, communs à tous les moteurs à combustion interne ; cependant, on peut noter que par rapport aux moteurs à explosion, les moteurs Diesel sont plus sensibles aux basses températures et les difficultés de départ à froid sont augmentées ; ceci est dû fait que :

- Les pressions de compression sont très élevées ;
- Les dimensions relativement importantes des cylindres et des organes en rotation font que les résistances internes sont accrues ;

L'analyse des perturbations peut amener à conclure que le mauvais état du moteur est seul en cause alors que, bien souvent, on incrimine trop hâtivement le système d'injection (par exemple la pompe d'injection ou injecteur).

Le mécanicien spécialiste s'attache donc, en premier lieu, à établir un diagnostic très précis avant d'effectuer la dépose d'un organe.

## 1.2 Un diagnostic s'appuyant sur l'outil informatique s'avère t-il nécessaire :

Les moteurs diesel sont de plus en plus exigeants et la technique devient de plus en plus complexe, notamment en raison des pressions d'injection supérieures et aux dosages de carburant. Les connaissances techniques nécessaires pour procéder aux réparations et aux entretiens s'avèrent donc toujours plus approfondies.

De nos jours, les critères économiques de rentabilité nécessitent une disponibilité maximale des machines et des engins. Pour ce, et à défaut de pouvoir éviter complètement la défaillance, on a besoin de minimiser les conséquences de l'indisponibilité des matériels, en effectuant le dépannage dans les plus brefs délais.

De cette analyse, nous avons constaté que l'amélioration de la maintenance corrective utilisant l'outil informatique constitue un besoin réel et une source de profit importante. Une des tâches les plus délicates de la maintenance corrective est le *diagnostic de pannes*. C'est à ce niveau que se situe l'essentiel de ce mémoire ; réalisation d'un logiciel interactif qui peut devenir un outil efficace, fiable et rapide pour les mécaniciens spécialistes.

Néanmoins, la vision large qui a été adoptée au départ doit permettre d'éviter que le diagnostic ne soit complètement isolé des autres tâches de maintenance ; on doit, donc rechercher les moyens d'intégration du diagnostic dans la maintenance.

Les logiciels interactifs d'aide au diagnostic de pannes, qui font partie des solutions nouvelles aux problèmes de l'assistance informatique aux tâches de maintenance, devront s'intégrer dans un véritable système de management de la maintenance pour réussir en milieu industriel.

Par exemple, la compagnie « Bosch » a créé un logiciel « CD-D ESI [tronic] », le premier équipementier du secteur diesel, assiste le spécialiste de manière efficace en lui fournissant des informations précises, notamment des vues éclatées et des nomenclatures de groupes Diesel. Avec 14.000 listes de pièces détachées et plus de 1,1 million de pièces saisies, ce CD-D constitue le catalogue le plus complet des produits diesel de Bosch. Souvent, l'identification des pièces détachées ne peut se faire que par le biais de vues éclatées. Un simple "clic" vous permettra d'en disposer sous forme claire avec référence aux sous composants, liste complète des pièces et références. Et aussi un outil efficace et rapide pour le diagnostic et la réparation des moteurs Diesels. [1]

### I.3 Vers une interaction « Homme-Machine » :

Sur des années les machines de toutes les sortes ont été améliorées et rendues plus fiables, tandis que beaucoup d'aspects de tels systèmes peuvent être et avoir été automatisés, l'opérateur humain est maintenu dans beaucoup de cas. Ceci peut se produire en raison des économies, de la tradition, du coût ou des possibilités (le plus susceptible) de l'humain pour percevoir des modèles d'information et pour peser des facteurs subtils en prenant les décisions de commande que la machine ne peut pas assortir.

Bien que le public, aussi bien que les responsables de l'exploitation du système, exigent habituellement qu'il y ait un opérateur humain, « l'erreur humaine » est une raison importante d'échec de système. Et hormis l'empêchement de l'erreur, obtenant la meilleure exécution du système signifie que l'homme et la machine doivent fonctionner ensemble efficacement et correctement, par conséquent, les possibilités d'exécution de l'humain relativement à ceux de la machine doivent être pris en considération dans la conception de système.

Dans le plus large sens, machiner l'interface « homme-machine » inclut toutes les ergonomies ou psychologies industrielles, et dépasse bien la conception des affichages et des dispositifs de commande. Elle inclut plus loin les champs du choix et de la formation d'opérateur, l'exécution humaine sous l'effort, les facteurs humains dans l'entretien, et beaucoup d'autres aspects de la relation de l'humain à la technologie. Cette section se concentre principalement sur l'interaction homme-machine dans la commande des systèmes.

Notre approche consiste à réaliser un logiciel interactif d'aide au diagnostic, et contribue à concrétiser l'aide apportée par l'outil informatique en matière de diagnostic de pannes et à la réparation du moteur Diesel.

Dans ce travail, nous analyserons les anomalies de fonctionnement du moteur Diesel d'après les différentes manifestations d'une marche défectueuse, dans le but de rechercher les causes, les pannes et de procéder méthodiquement aux vérifications qui s'imposent, en d'autre terme faire un diagnostic.

Les éléments d'information constituant le diagnostic des pannes du moteur Diesel ont été transformés en un système interactif permettant à l'utilisateur ou un mécanicien spécialiste de détecter d'une manière guidée, rapide et efficace les pannes, ensuite faire les tâches nécessaires de réparation. [2]

## **CHAPITRE II**

# **Anatomie du moteur Diesel**

## II. Anatomie du moteur Diesel :

### II.1 Généralités :

Un moteur est constitué d'un ensemble de pièces assemblées d'une façon bien déterminée, qui transforme en énergie mécanique utile, l'énergie chimique libérée par un carburant ; cette énergie peut être utilisée pour faire avancer un véhicule, ou faire tourner une machine (moteur stationnaire).

Il existe deux types de moteurs dits à combustion ; le moteur à combustion interne qui fonctionne à l'essence ou au gazole pour le Diesel ; et le moteur à combustion externe qui consomme du charbon ou du bois pour produire de la vapeur.

Les moteurs Diesel sont construits de la même façon que les moteurs à essence, mais sont généralement plus lourds afin de supporter de taux de compression plus élevés. Ces taux de compression peuvent atteindre environ 20 à 1 dans un moteur entièrement Diesel, et un peu moins dans un moteur semi-Diesel. Les moteurs Diesel peuvent être à deux temps ou à quatre temps, refroidis par air ou par eau.

Un moteur Diesel est un moteur dont le taux de compression produit une chaleur de compression suffisamment élevée entre 500 C° et 600 C° pour allumer le carburant, sans le concours d'une étincelle électrique.

Un moteur semi-Diesel est un moteur Diesel qui utilise un taux de compression inférieur et qui, par conséquent, ne développe pas une chaleur de compression suffisante pour allumer le carburant. Dans ce cas l'allumage se fait habituellement au moyen de bougies.

Un moteur Diesel ne comporte pas de carburateur. Il n'y a que l'air qui pénètre dans le cylindre lors de la course d'admission, donc seul l'air se trouve comprimé lors de la course de compression. Au moment opportun, le carburant est pulvérisé dans cet air chauffé sous pression. La chaleur de compression allume le carburant et le mélange air-gazole brûle ensuite, de la même manière que dans un moteur à essence, pour fournir la puissance. L'injection du carburant de l'intérieur du cylindre doit être programmée comme l'étincelle produite à la bougie d'allumage dans un moteur à essence.

Les moteurs Diesel à quatre temps suivent le même cycle que le moteur à essence, et comportent des soupapes d'admission et des soupapes d'échappement.

Par contre dans un moteur à deux temps, l'air pénètre par une lumière pratiquée dans la paroi du cylindre, et les gaz brûlés quittent le cylindre par une soupape d'échappement situé dans la culasse du moteur.

On peut remarquer que les moteurs Diesel de nos jours, comportent des bougies de préchauffage logées dans la chambre de la précombustion de chaque cylindre. Ces bougies de préchauffage fournissent la chaleur nécessaire à l'allumage du Diesel lors du démarrage.

Si on compare les moteurs Diesel avec les moteurs à essence, on remarque que la puissance développée par un moteur Diesel est d'environ 15 à 20% moindre que celle d'un moteur à essence de dimensions semblables, même si le carburant diesel contient environ 12% plus d'énergie que l'essence.

Toutefois, le moteur Diesel permet une économie de carburant d'environ 25% de plus, que son correspondant à essence, car ce dernier permet l'utilisation de combustible de qualité inférieure tel que le gazole, ou huile lourde, très visqueux, et peu volatil.

Les organes du moteur Diesel sont soumis à des températures élevées et à des efforts considérables, si bien que la construction du moteur pose des problèmes plus complexes que pour un moteur à explosion.

Les hautes températures sont indispensables pour enflammer spontanément le carburant injecté ; en conséquence :

- Les pièces sont largement calculées, la construction est très lourde ;
- L'étanchéité entre piston et cylindre, difficile à réaliser ;
- Le refroidissement doit être excellent pour assurer une bonne tenue des métaux et du lubrifiant ;
- Le graissage est délicat en raison des hautes températures atteintes.

Dans l'avenir, les moteurs Diesel pourraient servir à faire rouler des très grosses machines tandis que les moteurs à essence continueraient d'équiper les petites voitures.

## II.2 Historique du moteur Diesel :

**Diesel, Rudolf Christian Karl**, jeune ingénieur allemand né à Paris, après avoir étudié en Angleterre, et fréquenté l'École polytechnique de Munich, Diesel applique sa formation d'ingénieur à l'étude et à la conception de machines thermiques. Il s'intéresse tout d'abord à la combustion à pression ou à température constante des sous-produits lourds du pétrole. Puis il porte son attention sur les cycles thermodynamiques à quatre temps : aspiration d'air, compression entraînant une forte hausse de la température, combustion de l'hydrocarbure injecté et détente, et enfin évacuation des gaz.

Ses recherches le conduisent à fabriquer le premier moteur Diesel en 1897, en utilisant du fuel comme carburant. Offrant un excellent rendement, ce moteur se développe rapidement, intéressant notamment la marine. En récompense de ses travaux, Diesel reçoit en 1900 la médaille d'or de l'Exposition universelle de Paris. Il se noie en 1913, lors d'une traversée de la Manche à bord du *Dresden*.

Voilà un extrait d'un fameux livre de *Die Entstehung des « dieselmotors »*, qui remonte à une conférence que Rudolf donna le 21 novembre 1912 devant la Société de construction navale de Berlin ;

« ..... Comment l'idée vient-elle ?.... il peut arriver qu'elle survienne tel un éclair, mais la plupart du temps elle se développe lentement au travers de recherches pénibles et d'innombrables erreurs. Elle s'impose progressivement au travers de comparaisons, en distinguant l'important de l'insignifiant, avec une évidence grandissante, jusqu'à ce qu'elle soit enfin formée parfaitement et clairement dans l'esprit. L'idée même ne vient ni de la théorie, ni de la déduction, mais de l'intuition. La science constitue uniquement une aide à la recherche et aux essais, mais ce n'est pas d'elle que vient l'idée.

Cependant, même lorsque la vérification scientifique a établi la justesse de l'idée, l'invention n'est pas encore mûre. Ce n'est que lorsque la nature même a répondu par l'affirmative à la question posée par l'essai que l'invention existe. Et même à ce moment, elle n'est toujours qu'un compromis entre l'idéal de l'univers de la pensée et le réalisable du monde réel.

Lorsque le vénéré professeur Linde, dont j'ai suivi les cours à l'École polytechnique de Munich, expliqua en 1878 à ses auditeurs, dans le cadre du cycle sur la thermodynamique, que la machine à vapeur ne transformait que 6 à 10 p. 100 de la chaleur disponible du carburant en travail effectif, qu'il explicita le théorème de Carnot et expliqua que lors du changement d'état isothermique d'un gaz, toute la chaleur fournie était transformée en travail, j'écrivis dans la marge de mon cahier d'élève : « étudier si l'isotherme est oui ou non réalisable en pratique ». C'est à ce moment que je me mis à la tâche ! Il ne s'agissait pas encore d'une invention, ni de l'idée de l'invention. Le souhait de la réalisation du processus idéal de Carnot domina, dès ce moment, mon existence. Je quittai l'école, trouvai un travail, car je devais faire ma place dans la vie. Cette idée me suivit cependant sans arrêt.

À cette époque, c'était la vapeur d'eau surchauffée qui était pressentie pour améliorer l'exploitation de la chaleur de la machine à vapeur. Comme la vapeur d'ammoniac m'était familière en tant que spécialiste des machines frigorifiques, j'en suis venu à utiliser à la place de la vapeur d'eau de la vapeur d'ammoniac surchauffé qui, parce qu'étant très éloignée de son point d'ébullition dans des conditions normales de fonctionnement, est beaucoup moins sensible à l'effet de refroidissement des parois du cylindre. Dans l'usine de machines à glace de Linde à Paris, j'installai un laboratoire d'étude fondamentale des vapeurs d'ammoniac surchauffées et des solutions ammoniacales, dans le but, notamment, de construire de petits moteurs à ammoniac avec absorption de la vapeur d'échappement. Des recherches théoriques menées main dans la main pour une utilisation rationnelle de la surchauffe, mirent en exergue la nécessité d'appliquer simultanément une très haute pression.

Ces vapeurs surchauffées et sous très haute pression se trouvent alors quasiment à l'état de gaz. Maintenant, je ne pourrais vous dire comment vint l'idée fondamentale consistant à remplacer l'ammoniac par un véritable gaz, à savoir de l'air surchauffé maintenu sous très haute pression, d'y introduire progressivement un carburant finement réparti et de le faire s'étendre par la combustion simultanée des particules de carburant de telle façon que la plus grande partie possible de la chaleur produite soit convertie en travail. Mais la quête incessante du but vers lequel je tendais et les recherches des conditions associées aux innombrables possibilités confluèrent vers la bonne idée, qui me remplit d'une joie indicible. Après être tombé sur un type particulier de processus de combustion par surchauffe de vapeur, je vérifiai cette idée à l'aide de la thermodynamique et couchai ces réflexions, alors purement théoriques, dans un petit cahier, qui fut publié en 1893 (soit 14 ans après avoir écrit cette note dans la marge) et dans lequel je déclarai, après analyse de tous les types de courbes de combustion, que la combustion isothermique était la plus rationnelle..... ».

### II.2.1 Chronologie :

#### - « 1910 à 1945 » :

En 1912, l'injection mécanique remplace l'injection pneumatique ouvrant la voie de l'utilisation du moteur diesel pour des véhicules routiers. En 1921, l'ingénieur français « Tartrais » présente son premier moteur à rotation rapide élaboré en collaboration avec Peugeot. Ce 2 cylindres à deux temps, développant 40 CV, est installé sur un prototype de Peugeot type 156 qui effectue un spectaculaire raid Paris Bordeaux à 48 Km/h de moyenne.

**Benz** commercialisa ensuite les premiers moteurs diesel : un 2 cylindres de 30 ch à 800 tr/m pour tracteur ainsi qu'un 4 cylindres de 50 ch. à 1000 tr/mn pour camion. Plusieurs inventions ont alors permis au diesel de se développer à grande échelle comme les pompes d'injection mises au point par Bosch en 1927 ou le système à double turbulence avec chambre dans le piston et injecteur à jets multiples, inventé par Saurer, en 1935, dont la plupart des moteurs s'inspirent encore aujourd'hui. En 1936, Peugeot et Citroën proposent des taxis et utilitaires diesel et Mercedes commercialise la première voiture de tourisme Diesel du monde : la 260D.

#### - « 1945 à 1960 » :

Après guerre, les modèles diesel se succèdent : Mercedes lance en 1949 la 170D, la 180D puis la 190D. Avec la 403 diesel, Peugeot, en 1959, est le premier constructeur à rivaliser sérieusement avec Mercedes sur ce terrain.

#### - « 1960 à 1980 » :

Dans les années 1960, Peugeot lance successivement la 404 diesel, la 504 diesel et enfin la 204 diesel qui inaugure la voie du diesel très léger. En 1979, la Peugeot 604 D Turbo est équipée du premier moteur diesel français suralimenté. Des records viennent illustrer les qualités du moteur diesel :

- En endurance : en 1965, un cabriolet Peugeot 404 "hard top" établit 40 records mondiaux avec notamment un parcours sur piste de 10 000 Km en 72 heures à la vitesse moyenne de 161 Km/h ;
- En sobriété : en 1982, le prototype " Vera 02", reliait Paris à Pau (765 Km) avec une consommation moyenne de 2,53 litres aux 100 Km ! La voiture, une version allégée de la 305, est équipée d'un moteur diesel turbo de 1360 cm<sup>3</sup>.

#### - « 1990 à 1998 » :

L'introduction de l'injection directe haute pression par Fiat, au tournant de la décennie 1990 offrit un nouvel intérêt pour le moteur diesel en améliorant son rendement. Cependant, c'est l'association de l'injection directe à haute pression avec le système "rampe commune" chez plusieurs constructeurs dont PSA Peugeot Citroën qui va relever ce double défi : moins de nuisance sonore et moins de particules. Le groupe baptise "HDi" (High pressure Direct Injection) son nouveau moteur diesel doté de cette technologie. En septembre 1998, la Citroën Xantia est le premier véhicule du groupe équipé du moteur HDi.



- « L'an 2000 » :

En première mondiale, Peugeot a lancé la 607 équipée du filtre à particules (**FAP**). Depuis, le FAP équipe également la Peugeot 406 et la Citroën C5 depuis cette année, avec le FAP, l'émission de particules est ramenée à la limite du mesurable, le "point noir" du moteur diesel n'existe plus.



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

### II.3.1 Le circuit d'alimentation :

Le circuit d'alimentation comprend les injecteurs de combustible, les canalisations (admission et sortie), les collecteurs de combustible (intégral avec la culasse), la pompe d'alimentation ou pompe à combustible, la crépine, pompe injection, le filtre et les canalisations de combustible. Le gas-oil est aspiré depuis le réservoir en passant par la crépine et pénètre dans la pompe à combustible au côté admission. Sortant de la pompe basse pression, le gas-oil est chassé à travers le filtre et dans le collecteur d'admission, puis dans les canalisations du côté admission de chaque injecteur. Le gas-oil en excédent retourne du côté sortie des injecteurs au collecteur de retour gas-oil et ensuite dans le réservoir.

#### II.3.1.1 Le circuit d'alimentation de la pompe basse pression :

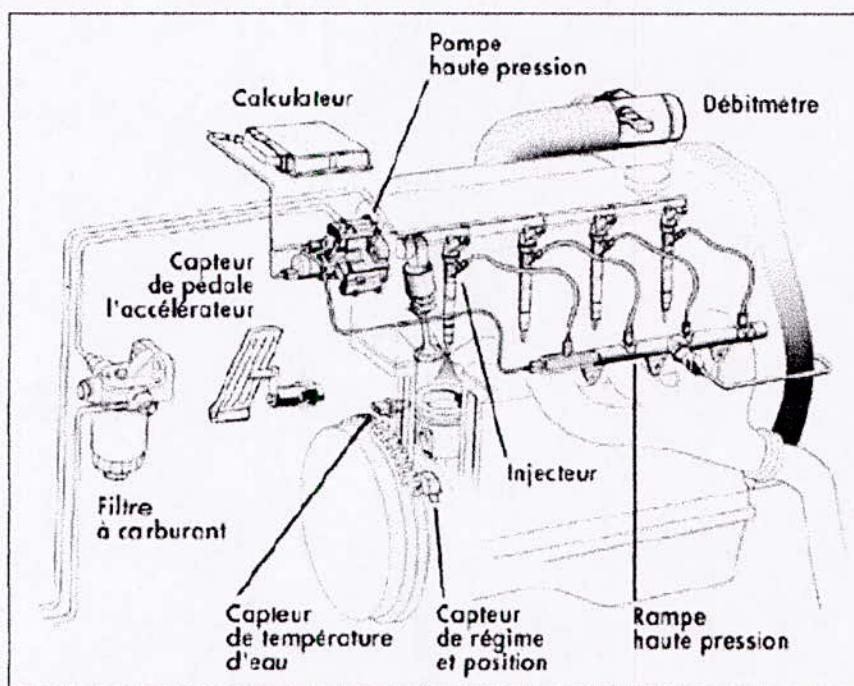


Fig. 1 Circuit d'alimentation basse pression

La figure.1 nous montre le circuit d'alimentation basse pression, ce dernier permet d'alimenter en quantité suffisante et à pression constante le circuit haute pression.

#### A- La pompe d'alimentation :

La pompe d'alimentation refoule le carburant du réservoir vers la pompe haute pression (environ 2,5 bars avec un débit de 200 L/h), et pour cela on peut citer deux types de pompes d'alimentation :

##### 1- La pompe mécanique à engrenages :

La pompe est implantée directement sur le moteur. Elle est composée de deux roues dentées entraînées par la distribution du moteur. Cette pompe est de type volumétrique et le

débit qu'elle fournit dépend de sa vitesse de rotation donc de celle du moteur ; elle se compose de : « Figure.2 »

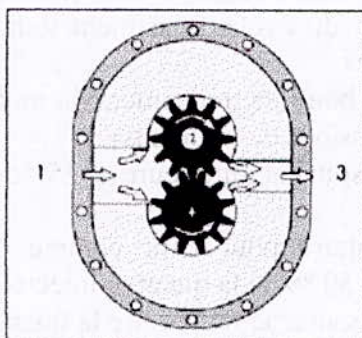


Fig. 2 Pompe mécanique à engrenage

- 1 : Chambre d'aspiration ;
- 2 : Pignon d'entraînement ;
- 3 : Chambre de refoulement.

## 2- La pompe électrique à rouleaux :

La pompe peut être implantée à l'extérieur du réservoir ou bien être immergée dans celui-ci. Elle est du type multicellulaire à rouleaux et entraînée par un moteur électrique à courant continu elle fonctionne en général dès la mise sous contact et à une vitesse constante.

Lors de la mise en route du moteur, la pompe haute pression dispose d'une pression d'alimentation de 3 bars maintenue par un régulateur basse pression qui est le plus souvent incorporé dans le filtre à carburant. Un clapet de sécurité incorporé assure la protection du circuit en cas d'obstruction. Elle se compose de : « Figure.3 »

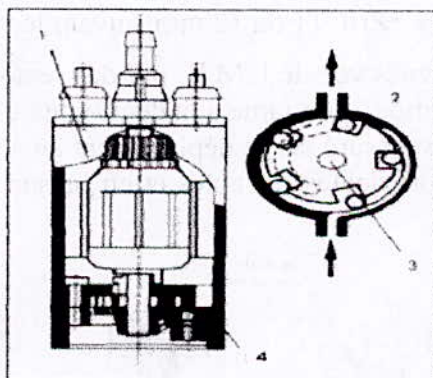


Fig. 3 Pompe électrique à rouleaux

- 1 : moteur à courant continu ;
- 2 : pompe à rouleaux ;
- 3 : rotor ;
- 4 : clapet de sécurité.

## B- La pompe d'injection :

Le rôle de la pompe d'injection étant de fournir la quantité requise de combustible sous forte pression au moment adéquat du cycle, quasiment toutes les pompes d'injection présentent des caractéristiques communes :

- Synchronisme précis pour garantir le bon fonctionnement du moteur, en particulier pour le respect de l'environnement (bruit et émissions de polluants) ;
- Refoulement sur une durée brève (souvent inférieure à 25° de rotation du vilebrequin moteur pour le débit maximal) ;
- Quantité de combustible supplémentaire pour tenir compte de la compressibilité du combustible qui peut représenter plus de 50 % de la quantité injectée ;
- Taux de refoulement important pour assurer le ratio entre la quantité refoulée et la durée de refoulement ;
- Décharge des canalisations haute pression efficace pour obtenir une fin d'injection nette.

Le dosage de la quantité refoulée par la pompe d'injection est obtenu par le choix de la course de refoulement qui, multiplié par la section du piston, assure un volume refoulé. La course de refoulement est obtenue par fermeture des orifices d'alimentation et de décharge, éventuellement confondus, pour une fraction connue du trajet du piston de pompe d'injection.

Nous citons quelques exemples des pompes injections utilisées actuellement :

### 1- Pompe d'injection Bosch taille « A » et « B » :

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

Exemple : Taille « A » → 7 mm.

Taille « B » → 10 mm.

Taille « P » → 10, 11 ou 12 mm suivant le type.

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

Le dosage du combustible est assuré par le déplacement en « rotation » des pistons, à l'aide de douilles, reliées à des secteurs dentés réglables et en liaison avec la tige de réglage, appelée aussi « crémaillère ». [5]

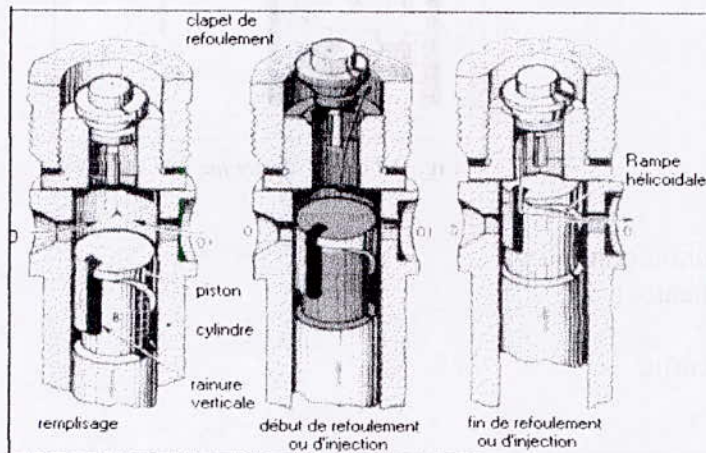


Fig. 4 Pompe d'injection Bosch taille « A » et « B »

## 2- Pompe d'injection C.A.V.-SIMMS :

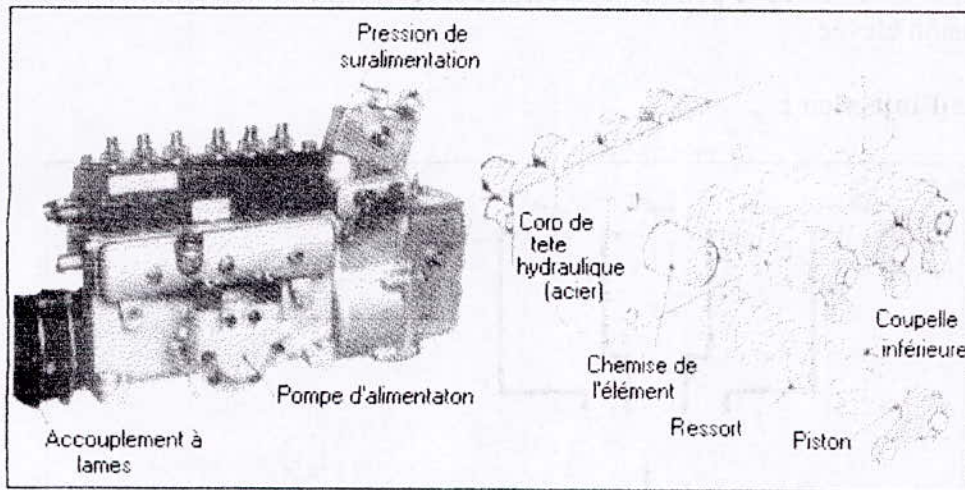


Fig. 5 Pompe d'injection C.A.V.-SIMMS

## 3- Pompe d'injection Roto Diesel, type D. P. A. Licence C. A. V :

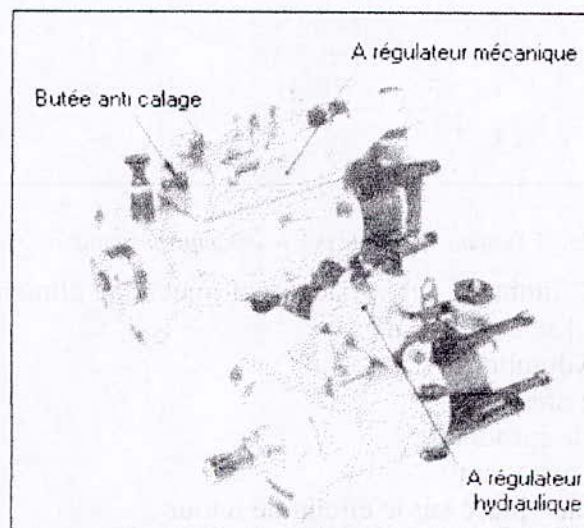


Fig. 6 Pompe d'injection Roto-Diesel, type D. P.  
A. Licence C. A. V

Le combustible est dosé, puis distribué à haute pression aux injecteurs (2) et aux intervalles requis, par l'intermédiaire d'un bloc hydraulique constitué par deux pièces ajustées avec une grande précision :

- Le distributeur tournant ou rotor de pompage ;
- La partie fixe ou tête hydraulique, sur laquelle sont fixées les sorties haute pression.

Les avantages de cette pompe sont :

- Égalité des débits entre les cylindres (déterminée par la précision d'usinage);
- Absence de réglage des débits d'injection des cylindres l'un par rapport à l'autre;
- Graissage et refroidissement assurés par le passage du combustible à travers la pompe (entretien réduit);

- Étanchéité parfaite empêchant toute pénétration de poussières, d'eau ou d'air (agriculture, travaux publics).

Même nombre de pièces en mouvement, quel que soit le nombre de cylindre à alimenter, le montage des organes de cette pompe ne nécessite ni refoulement, ni pignons, ni ressorts de rappel à tension élevée.

### C- Système d'injection :

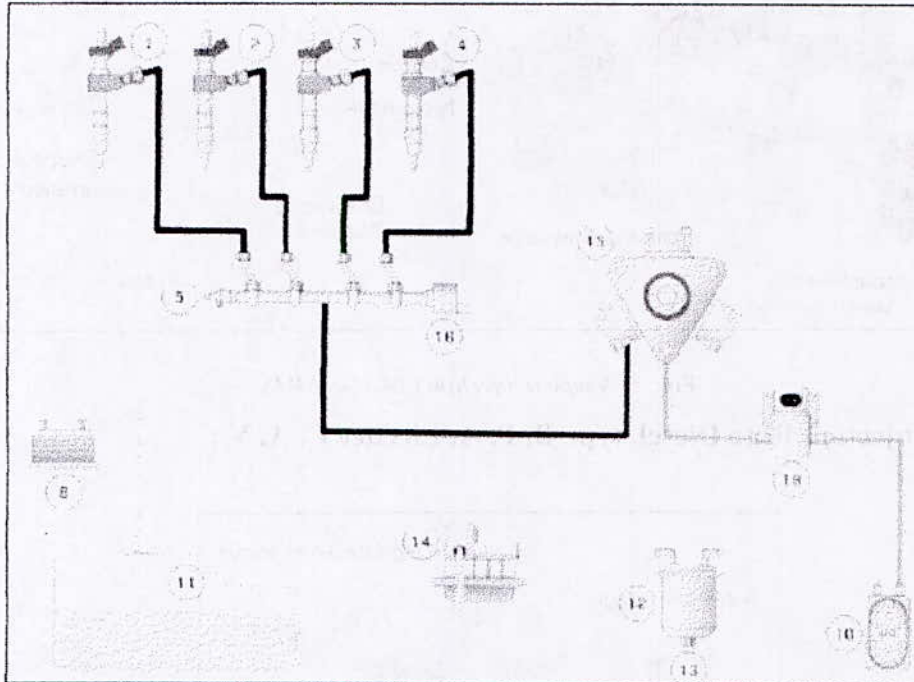


Fig. 7 Système Alimenté par une pompe mécanique

La Figure.7 nous montre, un système d'injection alimenté par une pompe d'alimentation mécanique, il se compose de :

- 1 à 4 : injecteurs électrohydrauliques ;
- 5 : rampe commune haute pression ;
- 6 : sonde de température de carburant ;
- 7 : capteur de pression de carburant ;
- 8 : refroidisseur de carburant, placé sur le circuit de retour ;
- 9 : pré-filtre à carburant ;
- 10 : pompe de gavage basse pression ;
- 11 : réservoir de carburant ;
- 12 : filtre à carburant, décanteur d'eau et régulateur du circuit basse pression ;
- 13 : vis de purge d'eau ;
- 14 : réchauffeur de carburant ;
- 15 : pompe haute pression ;
- 16 : régulateur haute pression de carburant ;
- 17 : désactivateur de troisième piston de la pompe haute pression ;
- 18 : électrovanne de coupure.

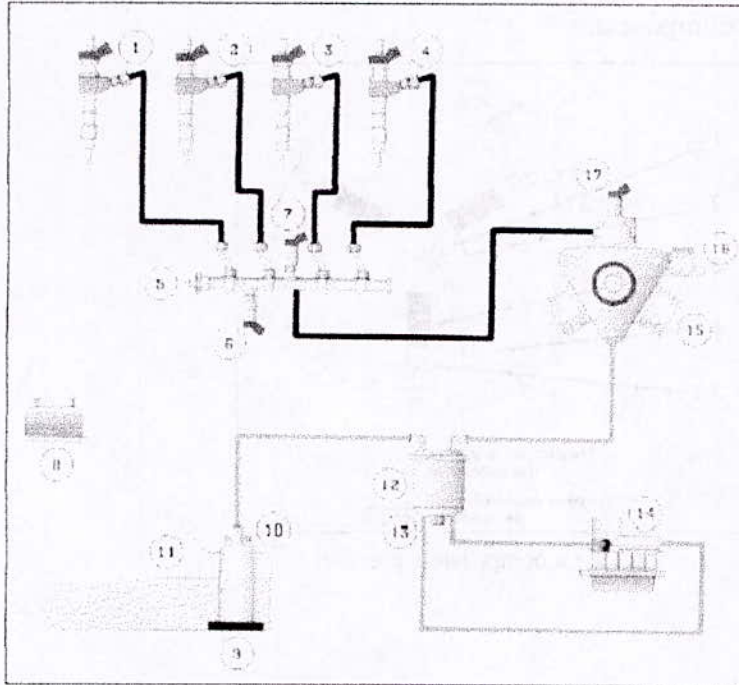


Fig. 8 Système d'injection alimenté par une pompe électrique

La Figure.8 nous montre, un système d'injection alimenté par une pompe d'alimentation électrique, il se compose de :

- 1 à 4 : injecteurs électrohydrauliques
- 5 : rampe commune haute pression ;
- 6 : sonde de température de carburant ;
- 7 : capteur de pression de carburant ;
- 8 : refroidisseur de carburant, placé sur le circuit de retour ;
- 9 : pré-filtre à carburant ;
- 10 : pompe de gavage basse pression
- 11 : réservoir de carburant
- 12 : filtre à carburant, décanteur d'eau et régulateur du circuit basse pression ;
- 13 : vis de purge d'eau ;
- 14 : réchauffeur de carburant ;
- 15 : pompe haute pression
- 16 : régulateur haute pression de carburant ;
- 17 : désactivateur de troisième piston de la pompe haute pression ;
- 18 : électrovanne de coupure.

### II.3.1.2 Le circuit d'alimentation de la pompe haute pression :

#### A- La pompe haute pression :

La pompe est entraînée par la distribution du moteur (coefficient d'entraînement : 0,5 environ). Elle est composée de trois pistons radiaux, décalés de  $120^\circ$ , qui fournissent à la rampe une quantité suffisante de carburant à une pression déterminée.

Ce type de pompe absorbe un couple d'entraînement compris entre 18 et 20 Nm, soit 1/9 du couple d'entraînement d'une pompe distributrice ; de plus la traction est plus régulière. La

pompe doit pouvoir fournir le débit souhaité par le calculateur sous une pression variant de 2 bars à 1 400 bars. Elle se compose de :

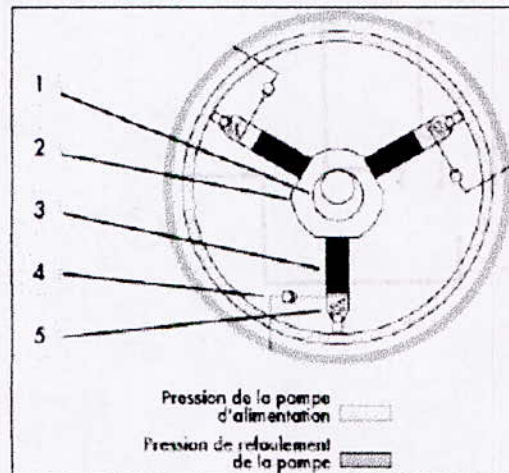


Fig. 9 La pompe haute pression

- 1 : arbre excentrique ;
- 2 : came d'entraînement ;
- 3 : piston ;
- 4 : clapet de refoulement à bille ;
- 5 : clapet d'aspiration.

### B- Régulation haute pression :

La pompe haute pression est conçue pour fournir des débits importants ; le débit en excédant retourne au réservoir par une fuite contrôlée par le régulateur de pression. Le régulateur contrôle la pression dans la rampe haute pression ; il est commandé par un RCO (rapport cyclique d'ouverture) fourni par le calculateur. Le régulateur est situé soit sur la pompe haute pression soit sur la rampe.

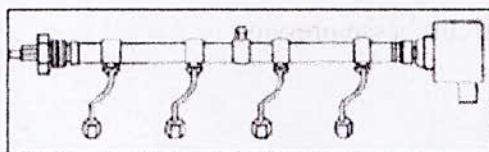


Fig. 10 Régulateur fixé sur la rampe

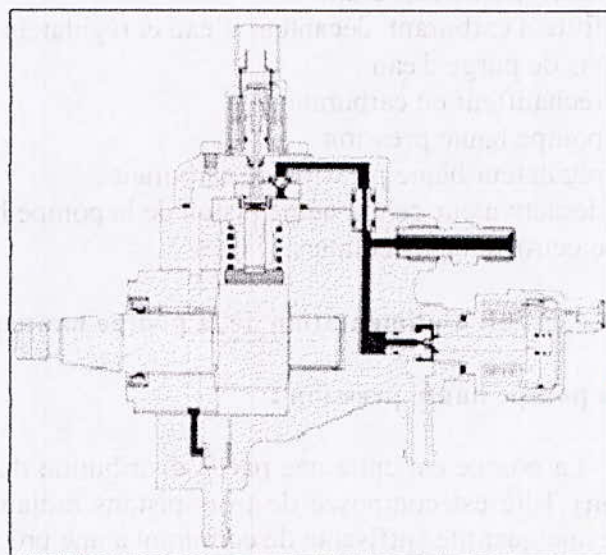


Fig. 11 Régulateur placé sur la pompe



### C- La rampe commune haute pression :

La rampe est en acier forgé et est adaptée à la cylindrée du moteur. Son volume amortit les pulsations de pression.

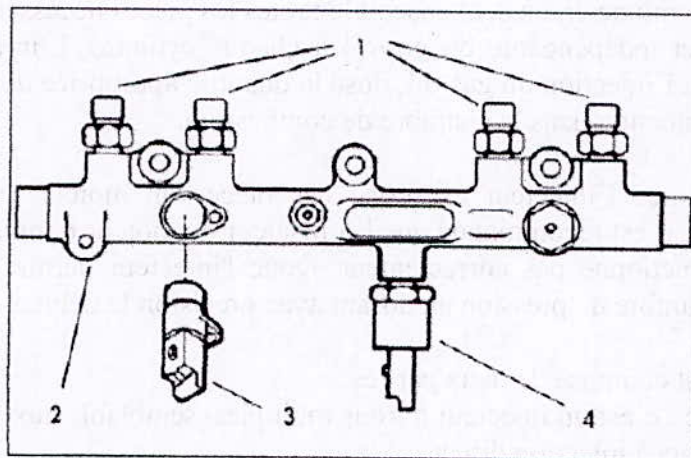


Fig. 12 La rampe commune haute pression

Elle se compose de :

- 1 : sorties haute pression ;
- 2 : rampe ;
- 3 : sonde de température de Carburant ;
- 4 : capteur de pression.

Les sorties haute pression sont en général équipées de limiteur de débit afin de sécuriser l'installation. Le limiteur de débit intervient en cas de grippage d'injecteurs ou d'interruption de canalisations haute pression. [3]

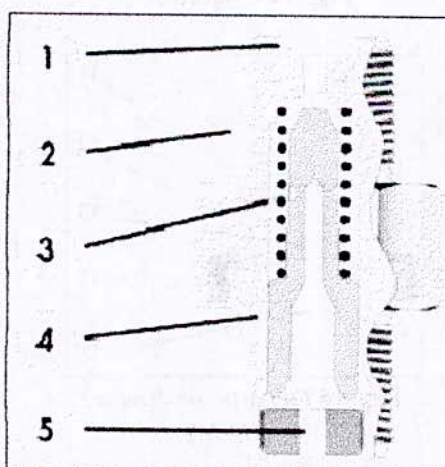


Fig. 13 Le limiteur de Débit

La figure.13 représente un limiteur de Débit, et il est constitué de :

- 1 : sortie vers l'injecteur ;
- 2 : corps de limiteur ;

- 3 : ressort ;
- 4 : piston ;
- 5 : pression de rampe.

#### D- Les injecteurs :

L'injecteur combine en un seul ensemble toutes les pièces nécessaires pour assurer une injection complète et indépendante du gas-oil à chaque cylindre. L'injecteur crée la haute pression nécessaire à l'injection du gas-oil, dose la quantité appropriée de gas-oil, pulvérise le gas-oil et minute l'injection dans la chambre de combustion.

Etant donné que l'injecteur est l'une des pièces du moteur les plus importantes, fabriquées avec soin, il est recommandé que l'utilisateur du moteur remplace l'injecteur en un ensemble s'il ne fonctionne pas correctement. Donc l'injecteur permet la pulvérisation du carburant dans la chambre de pression en dosant avec précision le débit et le point d'avance.

L'injecteur est composé de deux parties :

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

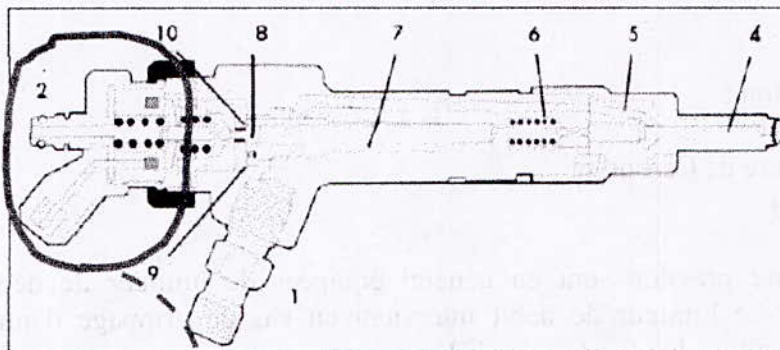


Fig. 14 L'injecteur

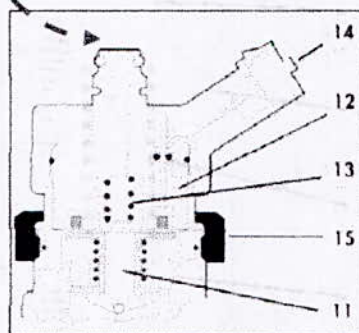


Fig. 15 La partie supérieure de l'injecteur

Les figures 14 et 15, nous montre les différentes composantes de l'injecteur :

- 1 : raccord d'entrée de pompe ;
- 2 : raccord de retour au réservoir ;
- 3 : filtre tige ;
- 4 : aiguille d'injecteur ;
- 5 : chambre de pression ;

- 6 : ressort d'injecteur ;
- 7 : tige de liaison ;
- 8 : chambre de commande ;
- 9 : ajutage du circuit d'alimentation ;
- 10 : ajutage du circuit de retour ;
- 11 : noyau de commande ;
- 12 : bobine ;
- 13 : ressort de rappel ;
- 14 : connecteur ;
- 15 : écrou.

On peut décomposer le fonctionnement de l'injecteur toute en suivant les schémas 14, 15, 16 et 17 en quatre phases :

**1 - Injecteur fermé (au repos)** : l'électrovanne n'est pas pilotée (fuite fermée). Le ressort plaque la bille (1) sur son siège. La pression de la chambre de commande (4) est égale à celle de la chambre de pression (6). Le ressort (5) maintient l'aiguille de l'injecteur (7) sur sa portée d'étanchéité ;

**2 - Début d'ouverture de l'injecteur** : activée par un courant d'appel, l'électrovanne s'ouvre. La pression dans la chambre de commande (4) chute. L'aiguille de l'injecteur (7) se soulève. L'ajutage d'arrivée (3) évite l'équilibrage des pressions ;

**3 - Pleine ouverture** : l'aiguille de l'injecteur (7) est en butée mécanique. L'électrovanne est maintenue ouverte par un courant de maintien. Le débit injecté dépend de la pression dans la rampe, du temps d'ouverture de l'aiguille (7) et du diamètre des trous de la buse ;

**4 - Fermeture de l'injecteur** : l'électrovanne cesse d'être activée, le ressort de rappel pousse la bille (1) sur son siège et provoque la fermeture de l'ajutage de fuite (2). La pression s'établit de nouveau dans la chambre de commande (4) par l'ajutage d'arrivée (3). L'équilibre des pressions est de nouveau rétabli. [3]

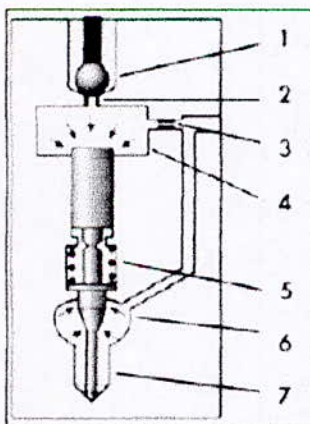


Fig. 17 Injecteur fermé

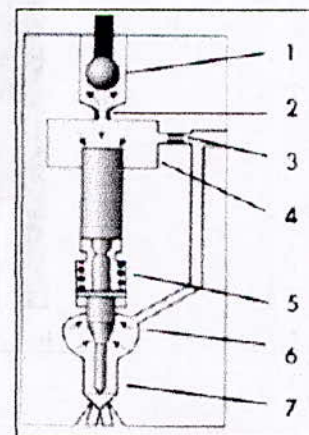


Fig. 16 Injecteur ouvert

## II.3.2 Le circuit de lubrification :

### II.3.2.1 Généralités :

Le frottement est un phénomène passif dû à la structure de la matière qui s'oppose au mouvement. Très tôt, l'homme fut obligé de trouver une solution aux problèmes qu'il pose et c'est probablement le hasard des observations qui lui enseigna le parti à tirer de la graisse. Les plus anciens témoignages remontent à la période égyptienne : il s'agit de dessins laissant supposer qu'il était habituel de rendre les surfaces glissantes en les enduisant de graisse ou d'argile pour transporter des pierres sur un plan incliné.

Le frottement entre deux corps dépend de leur dureté et surtout de l'état de leurs surfaces. Le contact ne s'établit jamais sur la totalité de celles-ci, mais uniquement au niveau des rugosités qu'elles présentent. Dans ces points s'exercent des pressions spécifiques très élevées avec une forte élévation de la température.

Ces deux phénomènes provoquent la fusion des points de contacts et des microsoudures entre les deux surfaces. Dans ces conditions, l'effort nécessaire pour provoquer le glissement augmente proportionnellement à la pression exercée sur les deux corps : une forte pression donne un coefficient de frottement élevé.

On préfère souvent utiliser deux métaux différents, car en cas de grippage, l'usure est ainsi limitée au métal le plus tendre. Si l'on interpose entre deux surfaces en mouvement réciproque une substance fluide, celle-ci joue pendant un certain temps le rôle de coussinet et évite le contact direct. La figure 18 nous montre un frottement sec et frottement onctueux :

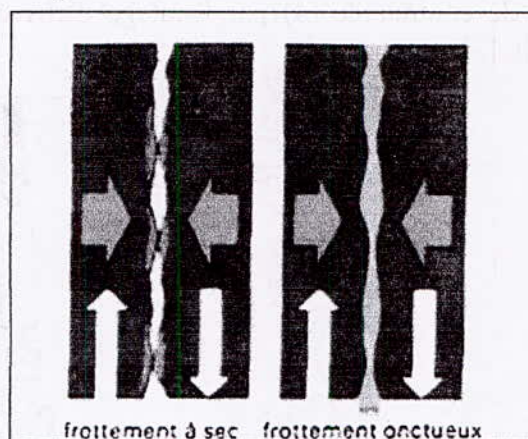


Fig. 18 Etat de frottement

Dans ces conditions, la force de traction correspond à l'effort de glissement entre les couches fluides. La force de traction est égale à l'énergie dissipée par le mouvement des molécules de fluide qui, à l'intérieur du film, n'adhèrent pas aux surfaces. Elles sont soumises à une action d'écrasement et à un mouvement de roulement qui provoque une augmentation de la température. Le comportement des molécules de lubrifiant est semblable à celui de billes élastiques interposées entre deux surfaces. Pour qu'elles puissent résister à l'écrasement, il faut que la force de cohésion entre molécules (viscosité) soit très élevée et ne diminue pas sous l'effet de la température ou du mouvement.

Aussi, bien qu'on ne soit pas en présence d'un frottement à sec, des contacts peuvent se produire en cas de fortes charges. Le degré de rugosité des surfaces est très important : une surface lisse en apparence présente en réalité un très grand nombre de saillies qui, bien que non visibles à l'oeil nu, n'en réduisent pas moins l'épaisseur du film.

Des surfaces parfaitement polies pourront supporter des charges supérieures et accepter un jeu plus faible sans risque de frictions entre les pièces. En ce qui concerne les cylindres des moteurs alternatifs, une légère rugosité est considérée comme souhaitable pour favoriser un rodage plus rapide et plus sûr. On réalisera ainsi simultanément le polissage du cylindre et l'appairage piston-cylindre.

En outre, en retenant une certaine quantité d'huile, les rugosités améliorent la lubrification durant la période de rodage. C'est précisément l'existence, dans les moteurs neufs, de parties imparfaitement lisses et insuffisamment adaptées qui provoque, à l'échappement, ces fumées d'une couleur bleuâtre caractéristique, déterminant une certaine consommation d'huile (dus aussi en partie à l'emploi de lubrifiants particulièrement fluides) ; ces phénomènes doivent être considérés comme normaux.

La séparation des surfaces de frottement est obtenue en injectant le fluide sous pression (lubrification hydrostatique), on aboutit ainsi à un coefficient de frottement très faible, même pour une vitesse de glissement réduite. La pompe à huile sera du type mécanique (pompe à engrenage) ou centrifuge. Dans ce second cas, la vitesse de rotation doit être élevée si l'on veut obtenir un bon graissage.

### II.3.2.2 Le système de graissage :

Le système de graissage doit non seulement éviter tout contact direct des corps solides et réduire le coefficient de frottement, mais aussi refroidir les surfaces, éviter la corrosion, rendre inoffensives les substances susceptibles d'apparaître en cours de fonctionnement, comme, par exemple, les produits de la combustion dans un moteur, et favoriser l'étanchéité entre les pièces en mouvement relatif. Il existe différents moyens permettant d'amener le lubrifiant au contact des parties en mouvement d'un ensemble mécanique. Le choix sera dicté autant par l'architecture du moteur que par les exigences relatives à la quantité et à la température de l'huile.

On distingue :

- **Le graissage par graisseur** : La graisse, enfermée dans un dispositif spécial, est injectée entre les surfaces intéressées sous pression ;
- **Le graissage goutte à goutte** : L'huile s'écoule par gravité au-dessus de la zone à lubrifier ;
- **Le graissage par barbotage** : L'huile, contenue dans un récipient placé sous les pièces à lubrifier, est projetée sur celles-ci par l'intermédiaire d'un dispositif tournant qui plonge dans le récipient ;
- **Le graissage forcé** : L'huile est canalisée vers les pièces à lubrifier par un circuit sous pression.

Le plus simple et le plus économique à construire est le système dit « **par barbotage** » : il permet le graissage de tous les mécanismes fonctionnant partiellement immergés dans le lubrifiant (boîte de vitesses, différentiel). Lorsqu'il s'agit d'un moteur, la distribution de l'huile est déterminée par les parties en mouvement qui, plongeant alternativement dans le lubrifiant, le projettent à l'intérieur du bloc ; ce résultat est parfois obtenu grâce à des cuillères fixées sur le vilebrequin ou la tête de bielle.

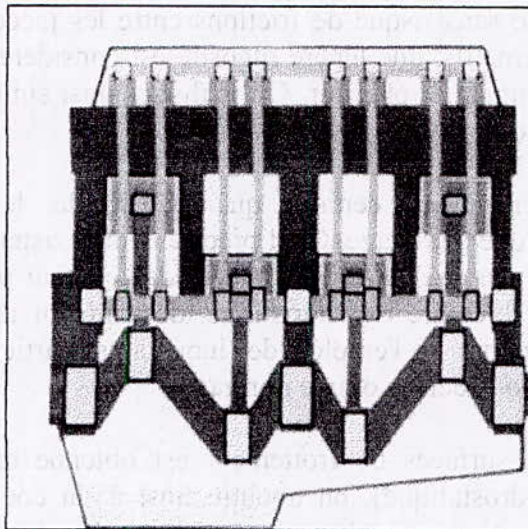


Fig. 19 Partie du Moteur nécessitant un graissage

Plus efficace, le graissage par huile perdue, après avoir remplacé le système par barbotage, connu pendant longtemps de larges applications en automobile et en motocycle, grâce à sa simplicité. Schématiquement, il est constitué par un réservoir à partir duquel l'huile est envoyée (à l'aide d'une pompe ou par l'intermédiaire de la pression fournie par l'échappement) à un distributeur qui dose et distribue le lubrifiant par des graisseurs spéciaux.

Dans les moteurs modernes, où les contraintes mécaniques et thermiques plus élevées imposent un graissage particulièrement intense et sûr dans n'importe quelle condition de fonctionnement, on est obligé de recourir au graissage forcé par pompe.

L'huile, aspirée dans le carter, circule dans des canalisations ménagées dans les pièces ; récupérée après utilisation et refroidie, elle est remise en circulation. Le graissage sous pression offre différentes variantes selon le mode de récupération et de stockage du lubrifiant. Dans la plupart des moteurs de série, c'est la partie inférieure du carter qui joue le rôle de réservoir. L'huile qui ruisselle des surfaces lubrifiées tombe par gravité dans le carter où elle est refroidie avant d'être à nouveau aspirée par la pompe.

Le tuyau d'aspiration de la pompe devra toujours être complètement immergé, quelles que soient les secousses que l'huile subit au moment des accélérations. Cette condition fondamentale est difficile à satisfaire, surtout pour les voitures à moteur transversal, dans lesquelles, sous l'action de la force centrifuge et du roulis, la masse liquide subit dans les tournants des déplacements considérables. Pour éviter ces inconvénients, on recourt au graissage par **carter sec**, caractérisé par son réservoir d'huile séparé du groupe moteur. Il nécessite deux pompes, l'une pour amener l'huile aux points à lubrifier, l'autre pour récupérer l'huile qui s'égoutte des parois et la renvoyer au réservoir.

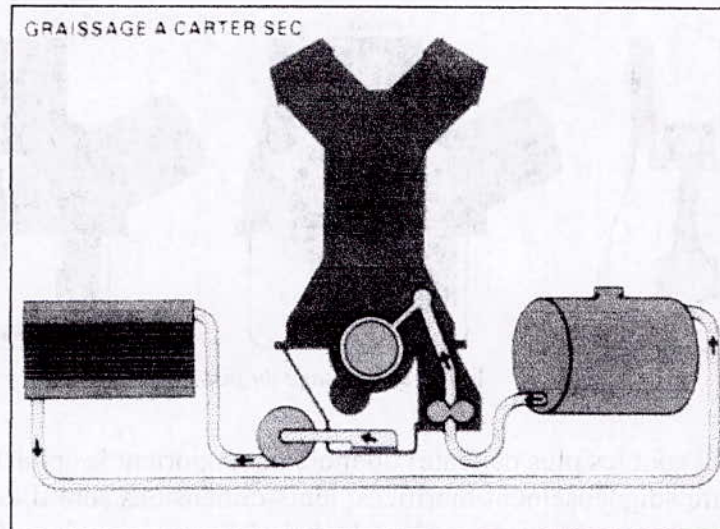


Fig. 20 Graissage à carter sec

Le système à **carter sec** équipe actuellement tous les moteurs de compétition ainsi que certaines voitures de série aux performances élevées. Les avantages sont multiples : constance absolue des quantités de lubrifiant prélevées par la pompe d'alimentation ; suppression du carter inférieur, ce qui permet d'abaisser le moteur ; possibilité de disposer d'une plus grande quantité de lubrifiant et de le refroidir d'une manière plus efficace.

#### A- Graissage du vilebrequin et piston :

Dans les moteurs automobiles à graissage par pompe entraînée par le moteur, le débit d'huile est toujours proportionnel à son régime de rotation, ce qui est très satisfaisant, la demande en huile croissant avec le régime. Lorsque le moteur est froid, la pression du circuit dépend exclusivement de l'étalonnage du clapet de décharge.

La pompe débite toujours, en effet, une quantité supérieure aux besoins pour compenser d'éventuelles pertes de charge, dues soit à la faible viscosité d'une huile trop chaude, soit à l'augmentation du jeu dans les moteurs usés. L'huile injectée sur les coussinets du vilebrequin parvient de ceux-là aux coussinets de bielle.

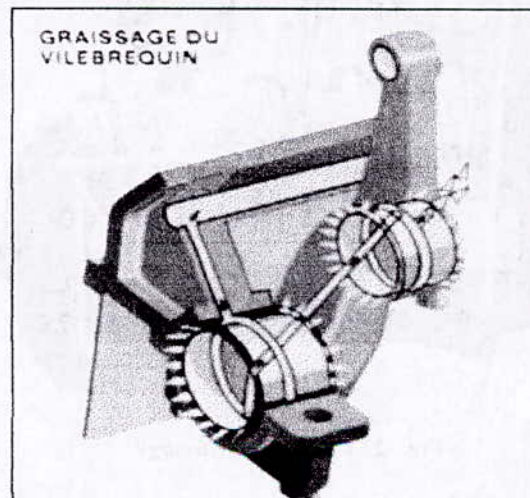


Fig. 21 Graissage de vilebrequin

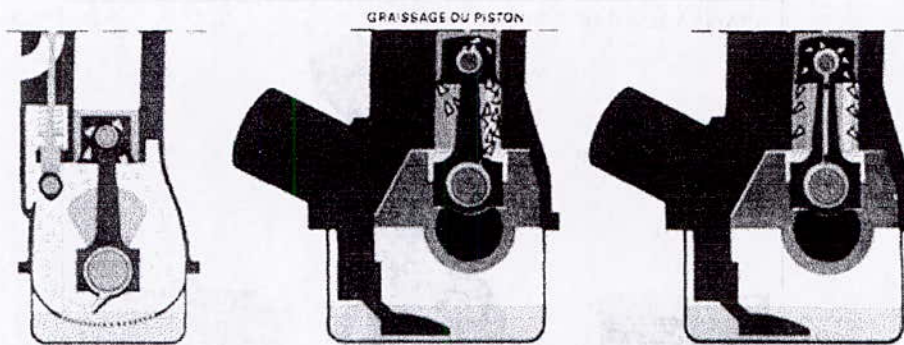


Fig. 22 Graissage du piston

Ces pièces, qui sont les plus délicates du moteur, supportent les plus fortes contraintes; elles devront donc être soigneusement lubrifiées, leurs dimensions sont d'ailleurs étudiées en fonction de leur graissage possible. Dans le calcul de la section et de la largeur d'un arbre-interviennent non seulement les problèmes de résistance de la pièce aux différentes contraintes, mais aussi le graissage et le refroidissement éventuels.

Un axe de fort diamètre, présentant par conséquent une surface étendue, ne supportera qu'une charge spécifique relativement faible, mais possédera une vitesse de glissement élevée par rapport au coussinet. Inversement, un axe de petite section supportera une charge spécifique importante, mais sera soumis à une vitesse de glissement réduite.

En ce qui concerne le refroidissement par le lubrifiant, il sera plus facile de refroidir avec une huile fluide sous une pression de circulation élevée, ou avec un jeu plus important entre les pièces (à la limite, on peut affirmer que le vilebrequin usé d'un vieux moteur est plus efficacement refroidi que celui d'un moteur neuf).

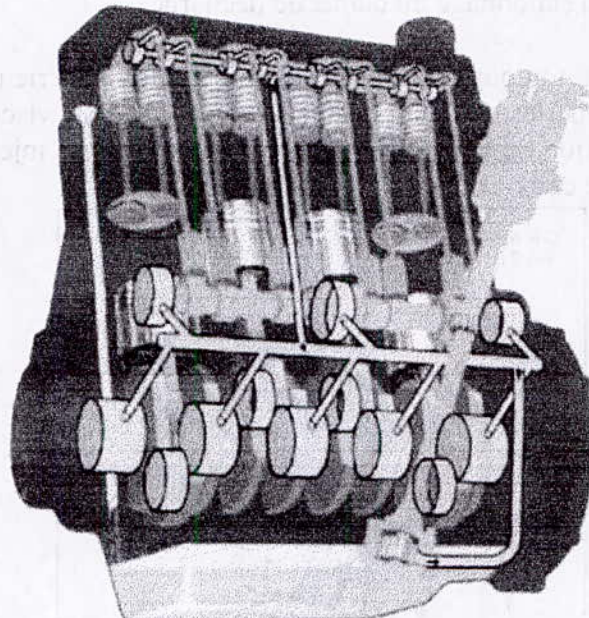


Fig. 23 Circuit de graissage



### B- Pompe à Huile :

La pompe à huile sur les moteurs V6 et V8 est entraînée par un moyeu d'entraînement de pompe à l'extrémité avant du vilebrequin et comprend un petit et un grand pignons s'engrénant dans une cavité à l'intérieur de couvercle du vilebrequin.

La pompe à huile du type engrenage sur les moteurs V16 est montée sur les chapeaux de paliers 9 à 10 à l'arrière du moteur. Sur certains moteurs, la pompe à huile est montée à l'avant sur les chapeaux de paliers 1 et 2. La pompe montée à l'arrière est entraînée par un engrenage qui est fixé au pignon du vilebrequin arrière. La pompe montée à l'avant est entraînée par un engrenage d'entraînement de pompe à huile boulonné au pignon avant du vilebrequin.

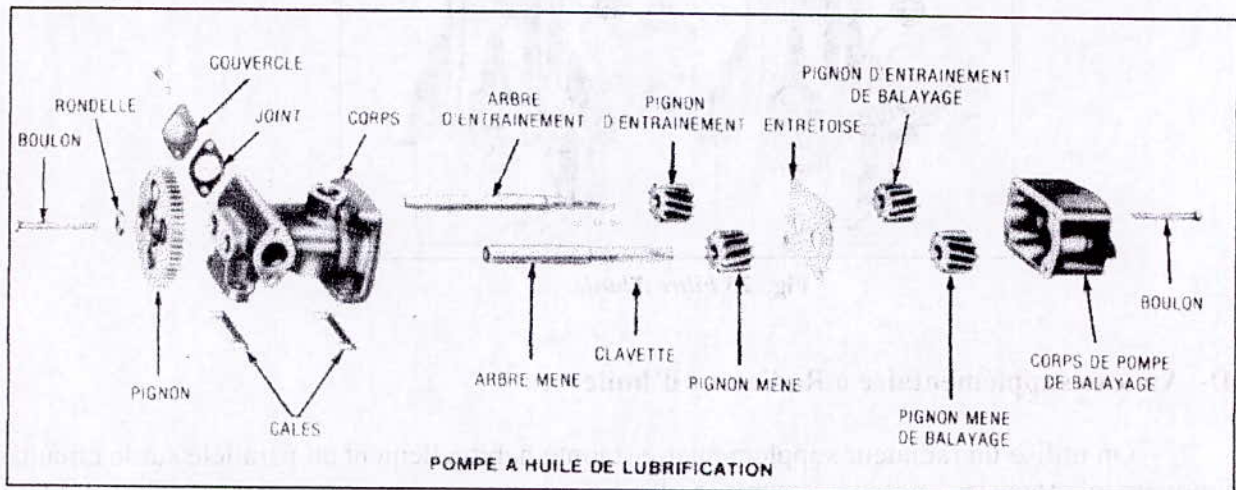


Fig. 24 Pompe à huile de lubrification démontée

Les composants de pompe à huile de lubrification sont, comme elle montre la figure 7, de la gauche vers la droite :

Boulon, Rondelle, Pignon, Couvercle, Joint, Corps, Cales, Arbre d'entraînement, Arbre mène, Pignon d'entraînement, Clavette, Pignon mène, Entretoise, Pignon d'entraînement de balayage, Pignon mène de balayage, Corps de pompe de balayage et Boulon.

### C- Le filtre à Huile :

Le filtre débarrasse le lubrifiant de toutes les impuretés qu'il porte en dispersion (particules de carbone, résidus de la combustion, ou particules métalliques provenant de l'usure ou du rodage).

Il est indispensable que l'huile soit filtrée en permanence, la présence d'impuretés pouvant endommager les surfaces et en accélérer l'usure. Les schémas montrent les deux montages les plus habituels de la cartouche sur le circuit. A gauche : montage en série, permettant de réaliser un filtrage total ; à droite : montage en parallèle. Les schémas indiquent également la position idéale que devrait occuper le manomètre pour donner des indications significatives. En effet, la pression varie le long du circuit en fonction de la résistance.

Les impuretés sont fixées par barbotage dans une cartouche, ou, plus rarement, par différence de densité (filtre centrifuge).

Le filtre peut être monté sur le circuit en série ou en parallèle. Dans le premier cas, il a l'avantage de filtrer l'huile sur le trajet pompe-moteur, mais l'inconvénient de causer une perte de charge dans le circuit ; de plus, en cas de colmatage, la régulation du débit sera directement affectée.

Dans le montage en parallèle, le filtre est disposé sur un circuit séparé, de telle sorte que seul l'excédent est filtré. Un échangeur de chaleur refroidit l'huile après son utilisation. Dans la plupart des cas, sa fonction est remplie par le carter inférieur.

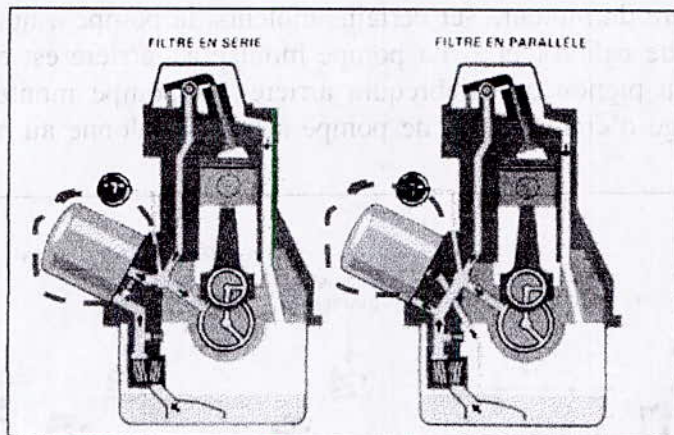


Fig. 25 Filtre à huile

#### D- Annexe supplémentaire « Radiateur d'huile » :

On utilise un radiateur supplémentaire (monté habituellement en parallèle sur le circuit) uniquement pour les moteurs soumis à des contraintes importantes ou travaillant à une température élevée (tout terrain, voitures de sport, moteurs refroidis par air).

Lorsque le graissage est à carter sec, par contre, le radiateur d'huile s'avère indispensable, car il n'est pas possible d'obtenir autrement un refroidissement efficace. Dans les groupes boîte différentielle des voitures de compétition, où les contraintes sont très élevées, il faut également prévoir un radiateur d'huile. Lorsque le graissage ne s'effectue pas à huile perdue (c'est-à-dire lorsque la même quantité d'huile recyclée lubrifie en permanence un mécanisme). [6]

### II.3.3 Le circuit de refroidissement :

#### II.3.3.1 Nécessité de refroidissement :

En cours de fonctionnement, certaines parties du moteur atteignent des températures très élevées. C'est notamment le cas des culasses et des soupapes, qui sont en contact avec les gaz chauds.

Les pistons, dont la partie supérieure est également en contact avec ces gaz, chauffent un peu moins, car ils cèdent de la chaleur aux cylindres et aux bielles auxquels ils sont reliés, et leur partie inférieure baigne dans la vapeur d'huile existant dans le carter.

Les têtes de bielle et les paliers de vilebrequin chauffent également, mais à un degré moindre. De plus, on sait que le point d'inflammabilité d'une huile neuve est au maximum 250°C au cours du graissage.

Le but de refroidissement est double :

- d'une part, il doit empêcher les organes mécaniques de chauffer anormalement, ce qui entraînerait des dilatations excessives, amenant rapidement la mise hors d'usage du moteur;
- d'autre part, il doit maintenir l'huile à une température convenable, afin que celle-ci conserve une viscosité suffisante pour assurer un graissage correct.

De plus, le refroidissement a une grande influence sur la puissance et le rendement des moteurs.

Par son action de régulation de viscosité de l'huile, il évite les frottements anormaux. En outre, il empêche l'échauffement du moteur, qui se traduirait par un mauvais remplissage et des cognements : deux causes de baisse de puissance et de rendement.

Par contre, il ne faut pas que le refroidissement soit trop important car, dans ce cas, il dissiperait des calories qui pourraient être transformées en travail utile. Comme dans beaucoup d'autres organes automobiles. On a donc été amené à réaliser un compromis entre les deux solutions.

En conclusion, on admet qu'un refroidissement est correct quand il est juste suffisant pour maintenir la température à l'intérieur des cylindres à une valeur telle qu'il n'y ait pas de points chauds et qu'il conserve à l'huile une viscosité suffisante.

S'il est relativement facile de refroidir par un moyen accessoire les pièces fixes d'un moteur : cylindre, culasse, il est beaucoup plus difficile de refroidir les pièces mobiles.

Le système de refroidissement agira donc sur les culasses et les cylindres et les pièces mobiles seront refroidies par conduction. C'est-à-dire, échange de chaleur avec les pièces fixes et par la circulation d'huile de lubrification.

### II.3.3.2 Système de refroidissement :

Il existe, actuellement, pour les voitures automobiles, deux systèmes de refroidissement :

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

#### A- Refroidissement par circulation d'air :

Ce système est employé sur les vélomoteurs, les motos et sur certaines voitures ayant, en général, de faibles cylindrées, à part quelques exceptions.

Il consiste à dissiper les calories existant dans les cylindres par un courant d'air.

Sur les engins à deux roues, les moteurs étant à l'air libre sont refroidis simplement par la vitesse du véhicule.

Sur les voitures, la circulation d'air est activée par une turbine ou un ventilateur qui, par des conduits, en tôle, appropriés, dirigent l'air sur les cylindres.

Dans les deux cas, pour augmenter la surface de contact avec l'air, les cylindres et les culasses sont munies d'ailettes.

Les avantages de ce procédé sont sa simplicité et la suppression des sujétions dues au système de refroidissement par eau : risque de gel en hiver, possibilité de fuites, etc.

Par contre, quoiqu'ayant été employé sur des voitures de forte cylindrée, notamment en Amérique, il n'est actuellement guère utilisé que sur des voitures de faible ou moyenne cylindrée, et en principe sur des voitures dont le moteur ne comporte pas de cylindres en ligne, les derniers cylindres de cette ligne risquant d'être refroidis imparfaitement.

#### B- Refroidissement par circulation d'eau :

Le principe du refroidissement par circulation d'eau est de prélever les calories en excès sur les cylindres par un courant d'eau, qui est dirigé sur un appareil appelé « radiateur ». Le radiateur, qui présente une grande surface de contact avec l'air, cède à son tour à celui-ci les calories apportées par l'eau qui le traverse.

Ce système exige donc que les pièces à refroidir, cylindre et culasses, soient entourées par l'eau. En conséquence, elles présentent une double enveloppe dont la paroi intérieure en contact avec les organes soumis à haute température doit être relativement mince, pour permettre des échanges de chaleur les plus rapides possible. Cette condition est primordiale, notamment à l'endroit des sièges de soupapes d'échappement qui sont particulièrement soumis à des températures élevées.

Schématiquement, un dispositif de refroidissement par eau se présente comme celui de la figure.26 :

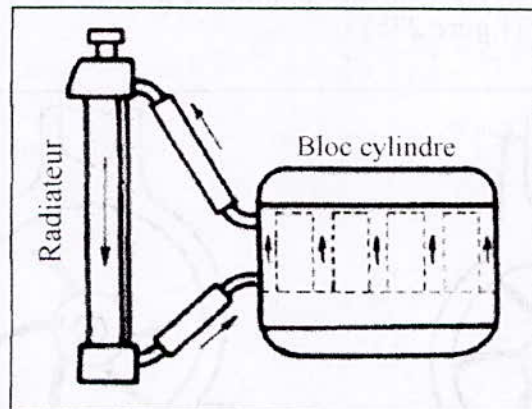


Fig. 26 Dispositif de refroidissement par eau

Les parties supérieures et inférieures du bloc cylindres et du radiateur sont reliées respectivement entre elles par des tuyauteries en fonte venues de fonderie sur le moteur, et en toile sur le radiateur, la liaison entre elles étant réalisée par des tubes flexibles, généralement en caoutchouc entoilé portant le nom de « durites ».

Lorsque l'on fait tourner le moteur, l'eau s'échauffe autour des cylindres; sa densité devenant plus faible, elle monte à la partie supérieure du moteur et de là, passe dans la partie supérieure du radiateur, où elle va se refroidir au contact de l'air.

Son mouvement entraîne la formation d'un courant continu qui suit le tracé des flèches.

C'est ce principe, appelé « thermosiphon », qui a été employé autrefois sur les voitures automobiles. Il est abandonné maintenant car, malgré ses avantages de simplicité et de ne pas demander de puissance au moteur pour fonctionner, il présente de nombreux inconvénients.

En effet, la vitesse de circulation de l'eau, déterminée seulement par la différence de densité entre l'eau chaude et l'eau froide, est très faible. Or, l'efficacité du refroidissement pour une vitesse donnée est d'autant plus grande que le débit d'eau est plus grand; il faut un radiateur de grande capacité, donc plus lourd et plus cher.

De plus, si pour une raison quelconque : fuite ou évaporation, le niveau de l'eau s'abaisse au dessous du niveau de la tubulure supérieure du radiateur, la circulation d'eau va cesser et le moteur va chauffer anormalement.

Dans le refroidissement par thermosiphon, on a été amené, pour obtenir une vitesse de circulation suffisante, à employer des radiateurs hauts afin que la différence de poids entre les deux colonnes d'eau chaude et froide soit assez grande. Or, la ligne moderne des voitures exige des radiateurs bas.

Pour augmenter la vitesse de circulation et réduire en conséquence l'encombrement du radiateur, on a intercalé sur le circuit d'eau une pompe entraînée par le moteur.

On a utilisé, dans le passé, des pompes à engrenages ou des pompes à palettes analogues à celles indiquées pour les compresseurs d'air ou les pompes de graissage. Actuellement, on utilise exclusivement des pompes à ailettes ou à aubes, soit circulaires (figure.27a), soit centrifuges (figure.27b) :

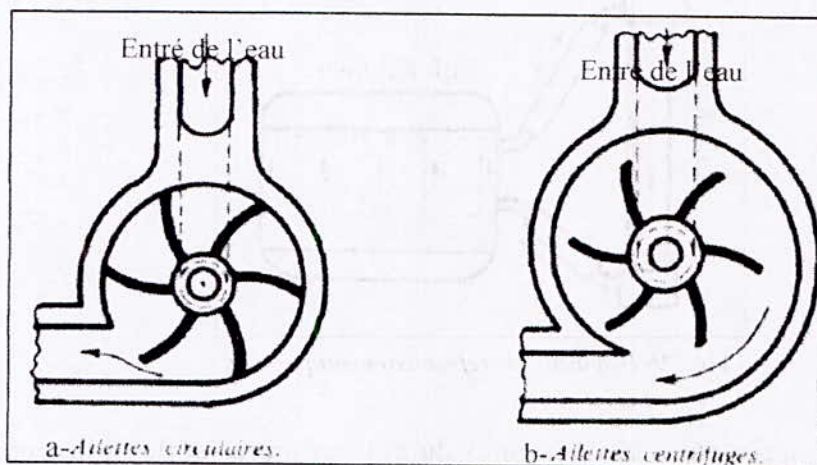


Fig. 27 Pompe à ailettes circulaires et à ailettes centrifuges

Ces pompes se composent d'une roue à ailettes tournant dans un tambour en bronze ou en fonte, au centre duquel l'eau arrive; l'axe de la roue est entraîné par une courroie qui commande généralement la dynamo et le ventilateur.

Sous l'action de la force centrifuge, l'eau est chassée vers la périphérie du tambour; il y a ainsi aspiration au centre du corps de pompe et refoulement à la périphérie.

La pompe est, en général, placée sur la canalisation inférieure froide, entre radiateur et cylindres; elle ne travaille donc jamais dans la vapeur d'eau et l'eau du radiateur l'alimente en charge. On n'a pas à craindre le désamorçage.

Le dispositif de refroidissement par pompe est plus léger que le système par thermosiphon et il n'est pas coûteux. La vitesse de circulation étant accrue, il est plus efficace.

### II.3.3.3 Les radiateurs :

Le rôle des radiateurs est d'assurer le meilleur échange de chaleur possible entre l'eau chaude arrivant du moteur et l'air ambiant, cet échange va prendre :

- 1- De la surface de contact avec l'air des parties du radiateur soumises intérieurement à la chaleur de l'eau;
- 2- De la conductibilité du métal avec lequel est construit le radiateur;
- 3- Des vitesses de l'eau et de l'air.

La première condition est remplie en donnant au radiateur des dimensions les plus grandes possibles compatibles avec son encombrement; la deuxième en employant des matériaux bons conducteurs de la chaleur : cuivre ou laiton.

La vitesse de l'eau est déterminée par la vitesse de la pompe. Quant à la vitesse de passage de l'air, elle est évidemment variable avec la vitesse de la voiture, mais on

l'accélère à l'aide d'un ventilateur placé derrière le radiateur.

Pour augmenter la surface de contact d'échange entre l'eau et l'air, on peut songer, ne pouvant donner une surface frontale trop grande, à augmenter l'épaisseur du radiateur. Toutefois, une épaisseur trop grande entraînerait une résistance accrue au passage de l'air et un moins bon refroidissement. Il y a donc là encore une solution de compromis à adopter.

Un radiateur est composé de deux réservoirs, placés l'un à la partie supérieure, l'autre à la partie inférieure. Tous deux sont reliés par les dispositifs destinés à assurer le refroidissement.

En général, on donne au réservoir inférieur le plus petit volume possible compatible avec le débit d'eau à obtenir. Au contraire, le réservoir supérieur a un volume relativement grand, de façon à servir de réserve d'eau pour que les pertes normales par évaporation ne compromettent pas le refroidissement.

Le réservoir supérieur comporte au sommet un tube de remplissage surmonté d'un bouchon et, à l'intérieur, un orifice placé le plus haut possible, dit « orifice de trop-plein », et communiquant avec l'extérieur par un tube qui descend au niveau inférieur du radiateur. Ce trop-plein est destiné à éviter les surpressions qui pourraient s'établir dans le radiateur, par suite de vaporisation ou de dilatation de l'eau.

Pour éviter les pertes d'eau qui pourraient se produire par suite des déplacements du liquide dans le radiateur: cahots de la route, virages, etc., on place un clapet dans l'orifice de trop-plein, clapet qui ne fonctionne qu'en cas de surpression.

Le réservoir inférieur comporte un bouchon de vidange permettant l'évacuation de l'eau contenue dans le circuit de refroidissement.

Toutefois, dans certains moteurs où la partie inférieure des chemises d'eau des cylindres est en dessous de l'arrivée d'eau froide, il existe un bouchon de vidange complémentaire sur le bloc cylindres.

Si nous négligeons les radiateurs à ailettes composés d'un simple tube replié plusieurs fois sur lui-même et garni d'ailettes, montés sur les anciennes voitures, il existe deux types de radiateurs :

- Les radiateurs à tubes d'eau, dits « radiateurs tubulaires » ;
- Les radiateurs à tubes d'air, dits « radiateurs nid d'abeilles ».

#### **a- Radiateurs tubulaires :**

Dans ces radiateurs, les réservoirs sont reliés entre eux par des tubes verticaux rectilignes. Ces tubes, dont la section peut être ronde, plate ou ovale, sont munis d'ailettes qui augmentent la surface de contact avec l'air. Primitivement, les ailettes étaient séparées et constituées de collerettes enfilées sur les tubes.

Les tubes sont en cuivre ou en laiton, les ailettes également, mais quelquefois en acier pour réduire le prix de revient.

Les tubes sont, en général, placés en quinconce dans le sens de l'épaisseur.

**b- Radiateurs nid d'abeilles :**

Dans ces radiateurs, anciennement utilisés, les tubes sont horizontaux et placés dans le sens de l'épaisseur. Ils sont parcourus par l'air.

Leurs extrémités épanouies sont soudées entre elles et les intervalles qui les séparent sont parcourus par le courant d'eau de refroidissement. La faible épaisseur avec laquelle l'eau circule assure un refroidissement efficace.

Par contre, ces radiateurs sont coûteux et, par suite des faibles sections où circule l'eau, sujets à l'encrassement par le calcaire de l'eau, la graisse provenant du presse-étoupe de la pompe et la rouille provenant des chemises des cylindres.

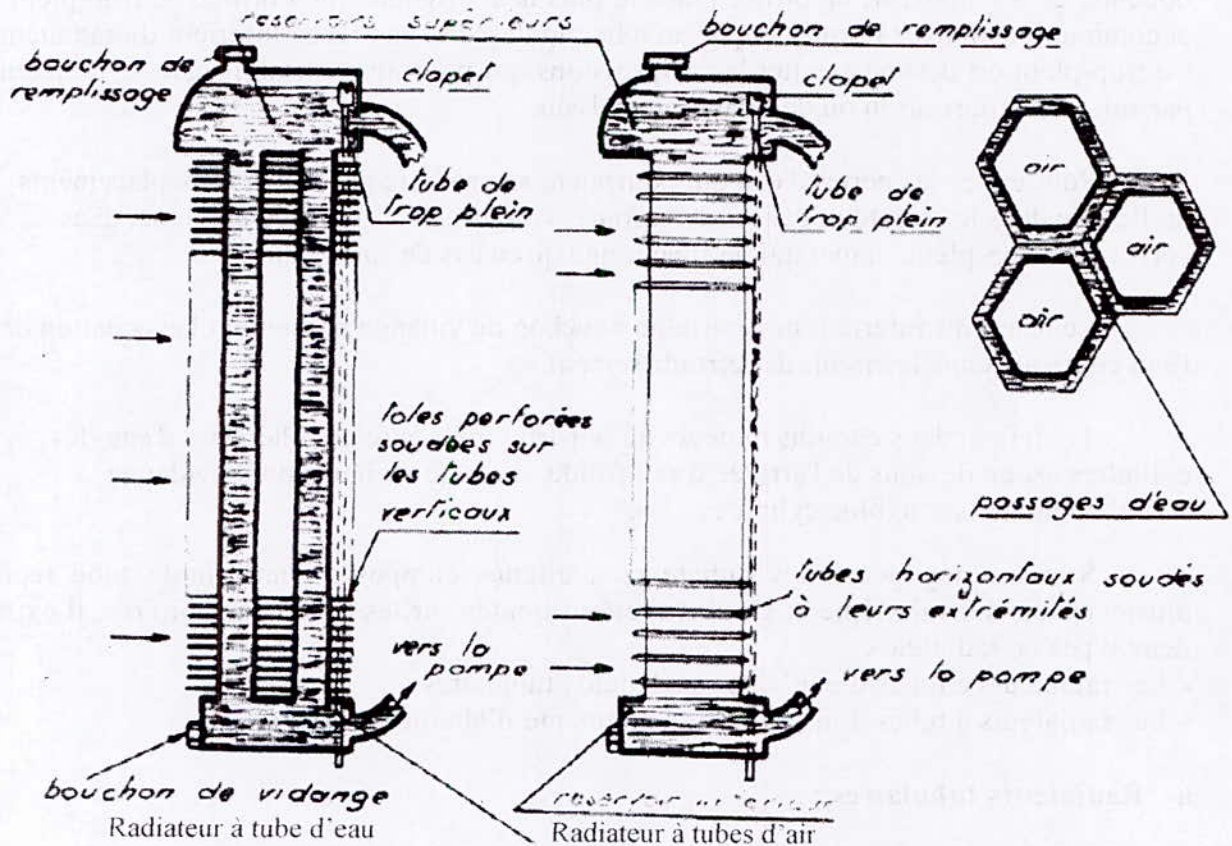


Fig. 28 différents types des radiateurs



Certains constructeurs utilisent actuellement le système dit a « scellé », dans lequel tout le système de refroidissement est étanche figure.29.

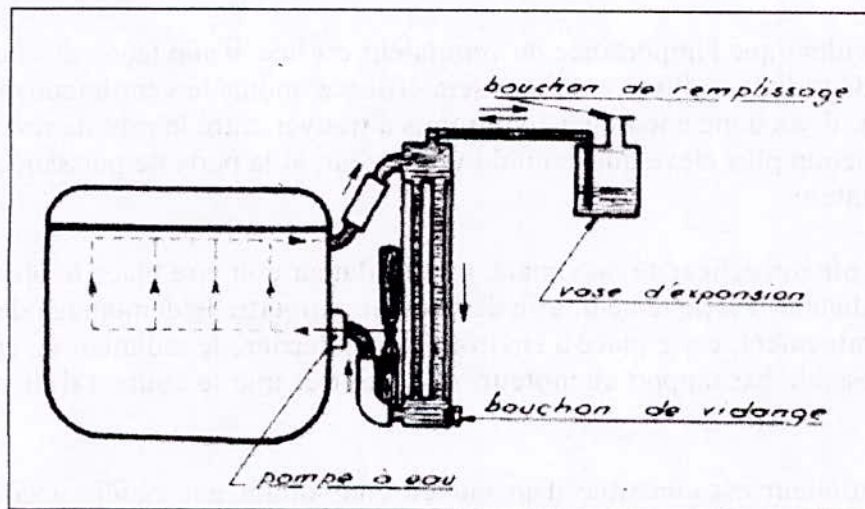


Fig. 29 Schéma de « le circuit scellé »

Il ne comporte plus de tube de trop-plein. La partie supérieure du radiateur est reliée, par un petit tube, à un récipient dit « vase d'expansion », fixé sur la paroi supérieure de la carrosserie.

Ce récipient est en communication avec l'atmosphère soit par un simple orifice, soit par une soupape de pression-dépression, c'est-à-dire qui peut fonctionner dans les deux sens. Il comporte, en outre, un bouchon de remplissage et est à niveau visible.

Le système de refroidissement : radiateur, pompe, groupe cylindres et culasse est complètement rempli de liquide ainsi qu'une partie du vase d'expansion.

Quand le moteur fonctionne, l'eau s'échauffe et augmente de volume; une partie du liquide passe dans le vase d'expansion sans qu'il y ait perte, comme avec un tube de trop-plein.

Quand le moteur s'arrête, l'eau refroidit et se contracte, déterminant dans le vase d'expansion une dépression qui aspire le liquide contenu dans ce dernier.

#### II.3.3.4 Les ventilateurs :

La vitesse de passage de l'air à travers le radiateur est évidemment d'autant plus grande que la vitesse de la voiture est plus élevée. Mais, dans le cas où le moteur tourne vite et où la vitesse est relativement faible, montée d'une côte, par exemple, le refroidissement dû à la seule vitesse de la voiture serait insuffisant; il a donc fallu accélérer la vitesse de l'air à l'aide d'un ventilateur.

Le ventilateur a malheureusement des inconvénients. Il absorbe une partie de la puissance du moteur, d'autant plus forte qu'il est important, et il est la source de bruits.

Il faut, toutefois, noter que la puissance absorbée par le ventilateur n'est pas constante. En effet, plus la vitesse de la voiture est élevée, plus le ventilateur travaille dans

un courant d'air violent et moins il exige de puissance pour augmenter la vitesse de passage de l'air.

Il est évident que l'importance du ventilateur est liée, d'une façon absolue, à l'importance du radiateur. Plus ce dernier sera efficace, moins le ventilateur sera puissant et inversement. Il y a donc encore un compromis à trouver entre le prix de revient du radiateur, beaucoup plus élevé que celui du ventilateur, et la perte de puissance acceptable pour un ventilateur.

Pour avoir son efficacité maximale, un ventilateur doit être placé le plus près possible du radiateur. Pratiquement, afin de pouvoir permettre le démontage de sa courroie d'entraînement, on le place à environ 20 mm derrière le radiateur et, en général, le plus haut possible par rapport au moteur, afin d'éviter que le courant d'air vienne buter sur ce dernier.

Un ventilateur est constitué d'un moyeu comportant une poulie à gorge et muni d'un nombre de pales qui peut varier de deux à huit. Les pales ne sont pas planes, mais légèrement courbées, figure.30 :

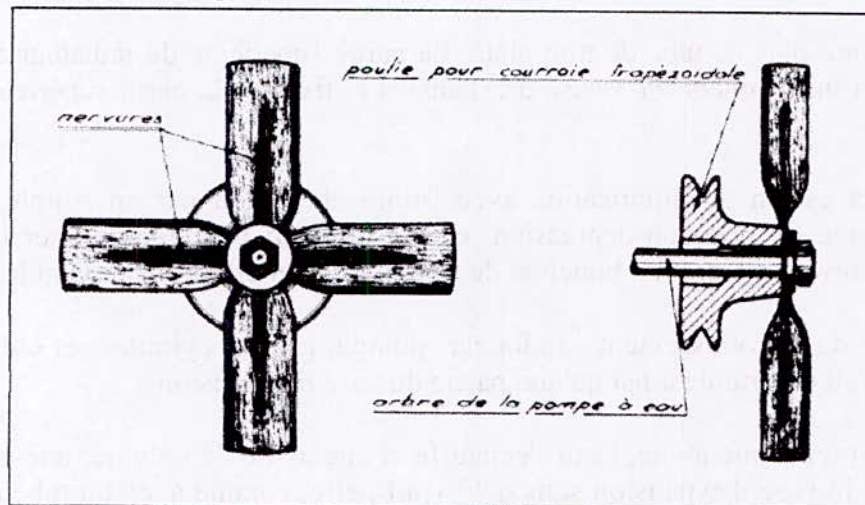


Fig. 30 Schéma d'un ventilateur

Le moyeu est en fonte, les pales en tôle mince nervurée pour accroître la rigidité, mais quelques constructeurs utilisent, actuellement, des pales en plastique.

### II.3.3.5 Ventilation :

Sur une voiture, les organes moteurs sont protégés de la pluie, de la poussière et de la boue d'une part, à la partie supérieure, par le capot et, d'autre part, à la partie inférieure, par des tôles placées entre le moteur et le châssis.

Le capot sert, en outre, à donner, par son dessin, la « ligne » de la voiture et concourt à l'aérodynamisme de l'ensemble.

Il est nécessaire que l'air, qui s'échauffe à son passage à travers le radiateur et qui passe sous le capot, soit évacué le plus rapidement possible.

A cet effet, les capots ont longtemps présenté, sur leurs côtés, des fentes appelées « crevés » ou des volets ouvrants.

Dans les voitures modernes à moteur avant, où le capot n'est souvent qu'un couvercle, quelquefois presque plan, on se contente de l'échappement de l'air qui se produit entre l'arrière du moteur et le dessous de la voiture.

Si le moteur est à l'arrière, il existe encore des crevés à la partie supérieure du capot, mais il est nécessaire de prévoir, sous ces fentes, une tôle destinée à protéger le moteur de la pluie.

### II.3.3.6 Régulation de la température :

Il y a intérêt à ce que la température de l'eau des chemises soit assez constante. Au début, elle doit s'élever rapidement, même par un temps froid et, à plein régime, elle ne doit pas être excessive.

C'est dans ce but qu'on a disposé sur certaines voitures, à l'avant du radiateur, des volets orientables à commande thermostatique, qui laissent à l'air un accès plus ou moins facile suivant la température du moteur.

On utilise également des dispositifs appelés « calorstats » qui obstruent plus ou moins la canalisation d'eau, Ils s'ouvrent progressivement sous l'influence de l'augmentation de la température. Un calorstat est composé d'un boîtier à l'intérieur duquel une soupape commandée par un élément thermostatique peut obturer le passage de l'eau, figure.31 :

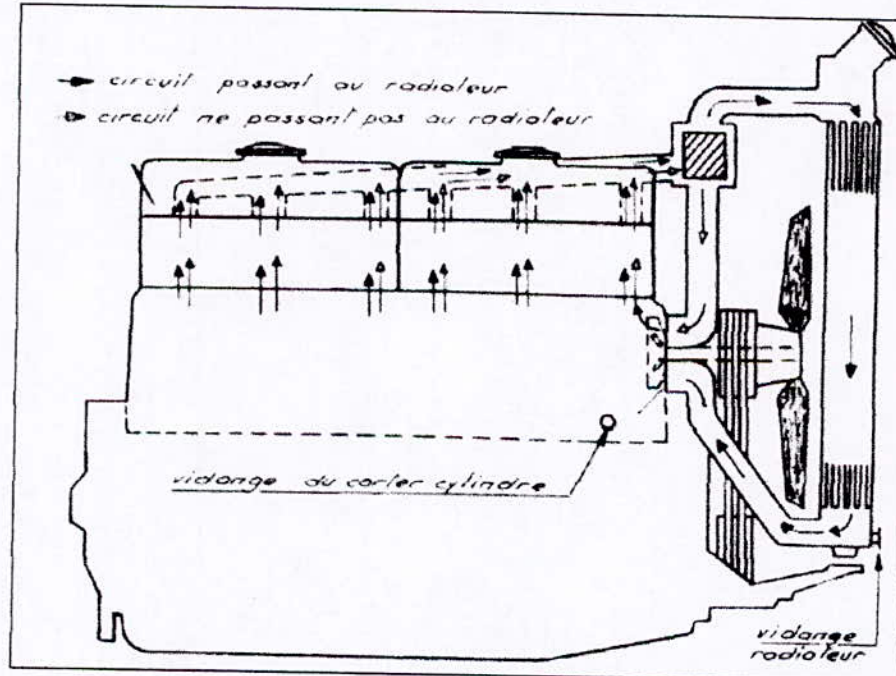


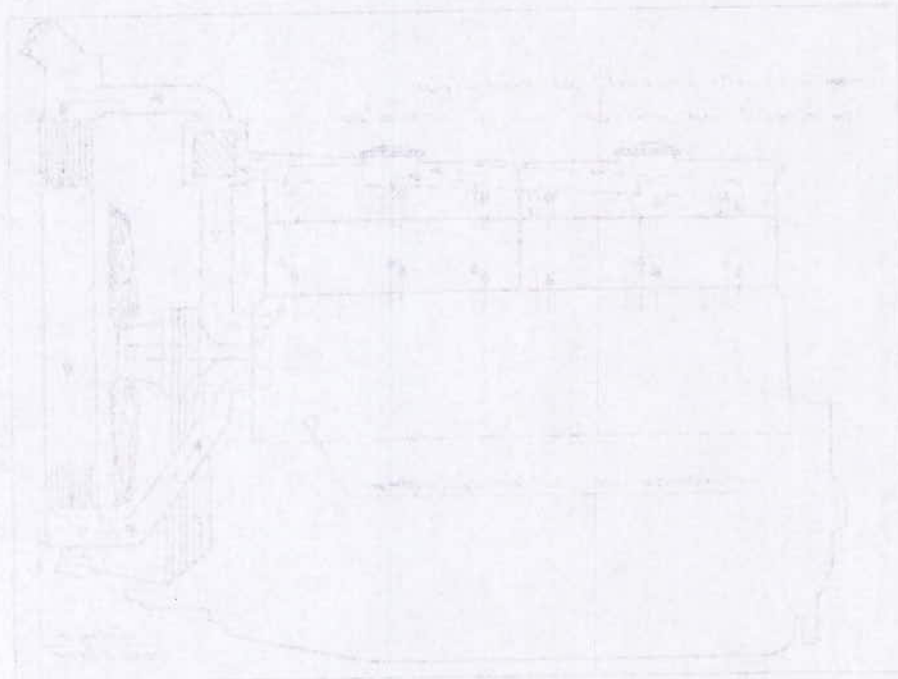
Fig. 31 Régulation de la température

Le calorstat est placé sur la canalisation de refroidissement du groupe cylindres et la partie supérieure du radiateur.

A froid, la soupape est fermée; si l'on met le moteur en marche, la température à la partie supérieure du bloc cylindres monte rapidement et la soupape s'ouvre, permettant le passage de l'eau au radiateur.

Par son action, il limite le temps de mise en température du régime du moteur. Par contre, par temps très froid, il peut entraîner au départ le gel du radiateur dans lequel il n'y a pas de circulation, c'est pourquoi, en général, la soupape ne ferme pas complètement.

En outre, de par sa position dans l'eau, il est sujet à des grippages qui peuvent freiner la circulation de l'eau de refroidissement.



## II.3.4 Les organes mécaniques du moteur :

### II.3.4.1 Généralités :

De nombreux codes de calcul ont été établis, parfois de manière laborieuse, au cours de ces dernières années, pour déterminer les dimensions des différentes pièces constitutives d'un moteur. Ainsi, c'est uniquement l'aspect technologique du moteur qui est traité ici.

Pour chaque pièce, la forme, la matière, la conception et les différentes fonctions sont décrites de façon générale, les particularités et les données numériques n'étant citées qu'à titre indicatif car propres à chaque constructeur et surtout variables dans le temps. Dans la première partie sont étudiées les éléments fixes du moteur, soit le bloc-moteur, la culasse et le joint de culasse, ainsi que l'assemblage et l'étanchéité des différentes pièces. Dans la deuxième partie, il est question de l'attelage mobile, soit le vilebrequin, la bielle et leurs coussinets, le piston et ses segments.

### II.3.4.2 Les parties fixes du moteur :

#### A- Bloc moteur :

Le bloc-cylindres peut être en fonte ou en alliage léger, auquel cas des chemises (en fonte à graphite lamellaire) peuvent être nécessaires. On peut également appliquer une couche résistante à l'usure (nickel) avec incorporation de cristaux de carbure de silicium (nikasil). Les chemises sèches (pas de contact direct avec le liquide de refroidissement) sont montées à la presse (20 à 30 KN) ou insérées à la coulée dans un bloc alu (utilisé par les constructeurs japonais) alors que les chemises humides s'introduisent facilement dans leur logement. Dans le cas de chemises humides, le procédé le plus répandu est celui dit de chemises comprimées. L'étanchéité est assurée en bas de la chemise par un joint papier ou acier ou un joint torique, et en haut par le joint de culasse. La chemise doit en général dépasser par rapport au plan de joint du bloc cylindres (entre 2 centièmes et 2 dixièmes).

Ses fonctions principales sont les suivantes :

- Contenir les cylindres ;
- Supporter le vilebrequin, la culasse, et les accessoires ;
- Servir du support à l'huile de lubrification ;
- Servir du support à l'eau de refroidissement ;

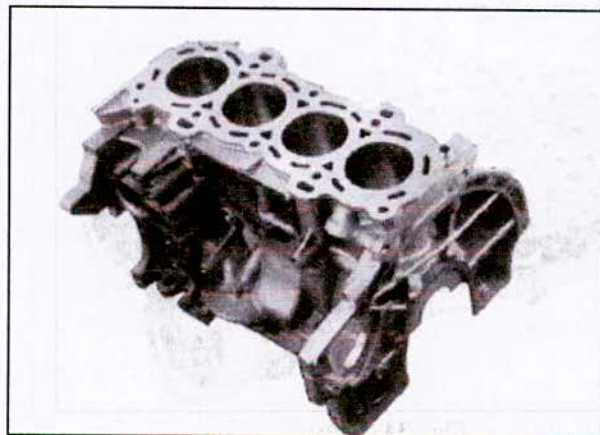


Fig. 32 Le bloc moteur

## B- Chemise :

La chemise tapisse les cylindres du bloc-moteur. Elle délimite la chambre de combustion et permet le déplacement du piston. Il existe plusieurs types de chemises intégrées. La chemise doit se déformer le moins possible pour éviter des consommations d'huile importantes ou même des grippages de piston et avoir un état de surface permettant la lubrification correcte du piston et des segments sans usure excessive.

Un bon état de surface est obtenu par un usinage des chemises à traits croisés avec un angle compris entre  $30^\circ$  et  $70^\circ$ . Cet usinage peut-être un pierrage avec un outil au carbure de silicium ou un rodage à l'outil diamanté.

Une bonne lubrification entre le moment où la surface est rodée et celui où elle est trop polie, ce qui entraînerait une mauvaise rétention d'huile et par conséquent une consommation d'huile plus importante et des risques de grippage. Les chemises sont souvent en fonte GLC 1 ou GLC 2 (graphite lamellaire). La température des chemises augmente quand on se rapproche du haut de la chemise.

## C- Culasse :

On trouve en général 4 points de fixation par cylindre sur une culasse de moteur essence, et jusqu'à 7 pour un diesel puissant.

La culasse est coulée en alliage d'alu (AS5U3, ...) ou en fonte. Pour faciliter l'admission, dont les gaz ont une vitesse plus lente que ceux d'échappement, les soupapes d'admission sont de plus grand diamètre que celles d'échappement. Pour donner un mouvement de swirl au mélange gazeux, plusieurs solutions sont envisageables :

- Sièges de soupapes avec déflecteurs ;
- Conduit d'admission d'air secondaire dans la culasse ;
- Conduit d'admission « Tangentiel ».

La culasse contient les circuits d'eau de refroidissement et d'huile de lubrification et, dans de nombreux cas actuellement, supporte le ou les arbre(s) à cames et les systèmes de distribution (poussoirs, culbuteurs, linguets, ...). Pour cela, on doit utiliser un matériau qui ait une bonne conductivité thermique, la meilleure rigidité possible, qui ne soit pas sensible aux chocs thermiques et qui soit coulable et usinable.

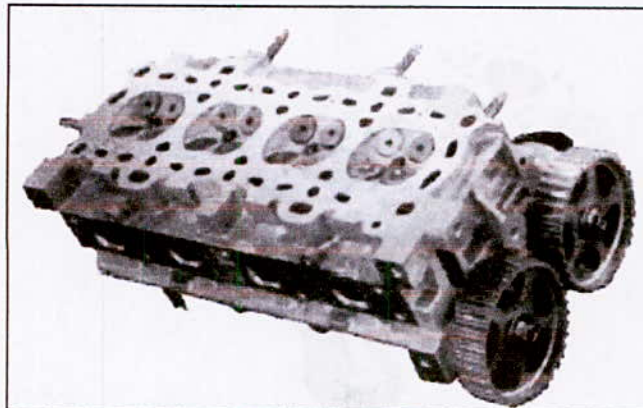


Fig. 34 Culasse

La conception d'ensemble est fonction des cadences de production, des procédés de coulée, des moyens d'usinage, etc. Généralement les culasses sont coulées en coquille (moules métalliques) pour l'extérieur, avec des noyaux pour l'intérieur. Actuellement, les culasses sont généralement en alliage d'aluminium contenant du silicium, du cuivre et du magnésium : AS 5 U 3 G à AS 8 U 3 G. Elles peuvent également être réalisées en AS 7 G.

#### D- Joint de culasse :

Le joint de culasse, différentes solutions sont envisageables : un joint combiné matériau tendre - métal, ou un joint métallique (stratifié ou en une seule feuille), plus résistant.

Le joint de culasse assure l'étanchéité :

- Aux gaz entre culasse et chemises ;
- A l'eau vers l'extérieur (entre culasse et bloc-cylindres) et vers le cylindre (entre culasse et chemises) ;
- A l'huile vers l'extérieur (entre culasse et bloc-cylindres) et l'huile et l'eau.

Le joint est sollicité par :

- Des contraintes mécaniques de serrage, de pression des gaz (et des fluides à étancher), de dilatations thermiques différentielles entre le bloc et la chemise, de vibrations, etc. ;
- Des contraintes chimiques dues aux gaz de combustion, au liquide de refroidissement, à l'huile, etc. ;
- Des contraintes thermiques.

Il y a plusieurs types de joints de culasse ; Joints combinés (matériau tendre, armature métallique), Joints mixtes, etc.

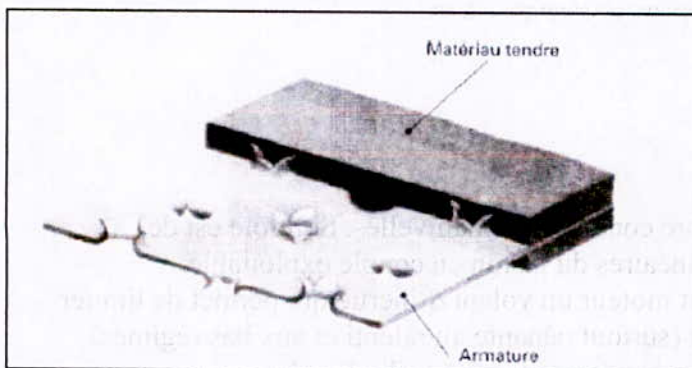


Fig. 35 Joint de culasse combiné

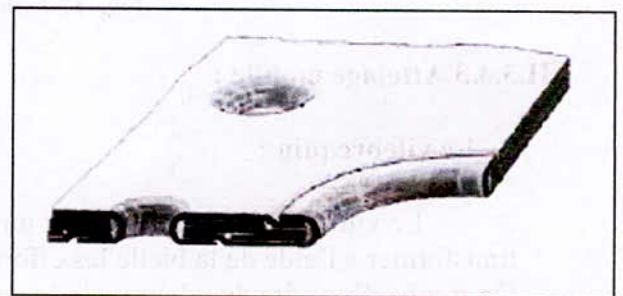


Fig. 16 Joint de culasse métallique

#### E- Etanchéités dans le moteur :

On distingue, dans les moteurs, les étanchéités des pièces immobiles (étanchéités statiques) de celles des pièces mobiles (étanchéités dynamiques).

##### 1- Etanchéités statiques :

- L'étanchéité à l'huile est nécessaire pour la culasse, le bloc-moteur, y compris le carter de distribution dans le cas d'un entraînement de la distribution par chaîne, le bac à huile, le couvre-culasse, le bouchon de remplissage d'huile, etc. On utilise des joints de culasse, des joints plats, des joints moulés ou toriques ;

- L'étanchéité aux gaz est nécessaire pour la culasse, les soupapes, les lignes d'admission et d'échappement (en particulier les liaisons collecteurs/culasse). On utilise des joints de culasse, des joints moulés, des joints toriques, des joints d'échappement métal-matériau sans amiante et des joints de rotule d'échappement ;
- L'étanchéité à l'eau est nécessaire pour la culasse, la pompe eau, les collecteurs d'entrée et de sortie d'eau, les durits de circulation du liquide de refroidissement, etc. On utilise des joints de culasse, des joints plats, des joints toriques.

En résumé, pour l'étanchéité statique on utilise des joints plats, des joints moulés et les joints toriques.

## 2- Etanchéités dynamiques :

- L'étanchéité à l'huile est nécessaire pour le bloc-moteur au niveau des sorties de vilebrequin, pour les sorties d'arbre à cames, pour les queues de soupapes, figure 5, etc. On utilise des joints à lèvres ;
- L'étanchéité à l'eau est nécessaire par exemple pour l'arbre de pompe à eau. On utilise des joints tournants de pompe à eau ;
- L'étanchéité aux gaz est nécessaire entre piston et chemise, on utilise des segments.

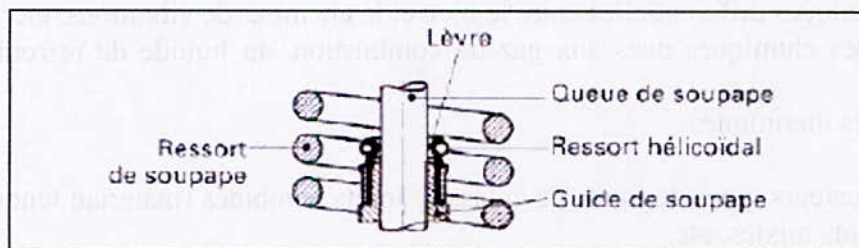


Fig. 37 Joint de queue de soupape à lèvres

### II.3.4.3 Attelage mobile :

#### A- Le vilebrequin :

Le vilebrequin figure.38, est un arbre constitué de manivelles. Son rôle est de transformer à l'aide de la bielle les efforts linéaires du piston en couple exploitable. On trouve d'un côté du vilebrequin le volant moteur ou volant d'inertie qui permet de limiter l'irrégularité cyclique du régime de rotation (surtout gênante au ralenti et aux bas régimes), qui sert de porte-couronne de démarreur et qui supporte le couvercle d'embrayage.

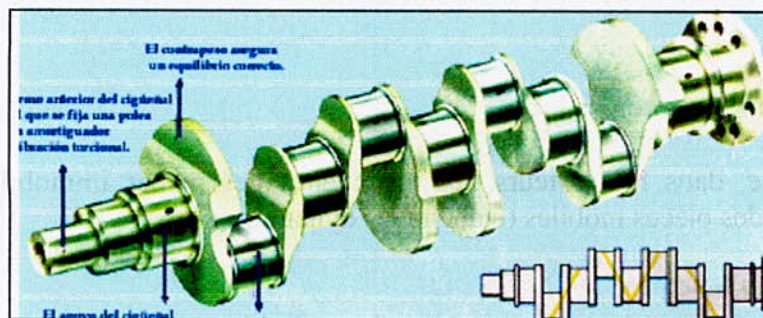


Fig. 38 Le vilebrequin



**B- Bielle et Coussinet :**

Les bielles peuvent être en acier trempé-revenu (XC32, XC38, 20 M5), recuit (45 M5S), fritté forgé (Porsche 928) en fonte GS, en alu (Aston Lagonda) ou en titane (compétition). Le pied de bielle s'articule sur l'axe de piston par l'intermédiaire d'une douille en bronze, qui pourra supporter jusqu'à 1100 bars. L'axe doit être bloqué en translation par des circlips, et le graissage peut se faire soit par retombée d'huile sous le piston, soit par remontée d'huile sous pression à travers la bielle. La tête de bielle doit être suffisamment indéformable pour ne pas risquer une rupture du film d'huile entre coussinet et maneton.

Le rôle de la bielle est de transmettre au vilebrequin les efforts reçus par le piston, en transformant un mouvement rectiligne alternatif en un mouvement circulaire dans un seul sens. La bielle est soumise à des efforts de combustion et d'inertie.

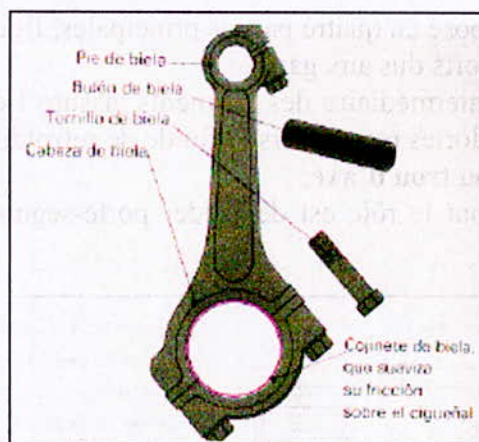


Fig. 39 Une bielle

La bielle est constituée de : pied de bielle, corps de bielle, tête de bielle et chapeau de tête de bielle.

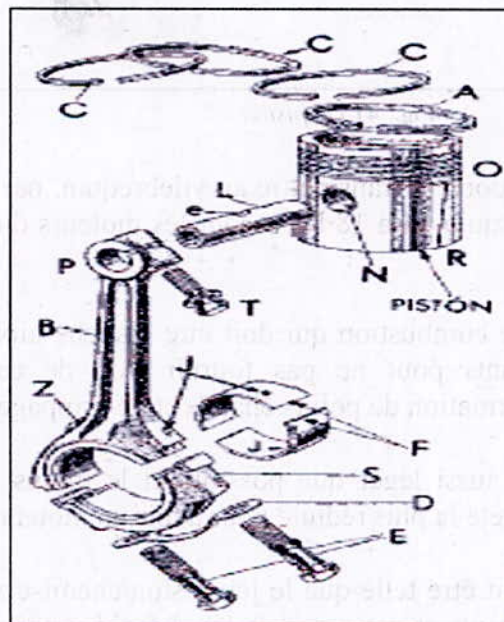


Fig. 40 Conjonction bielle-piston

Les coussinets doivent permettre une rotation en régime hydrodynamique, sous des pressions pouvant dépasser 700 bars. Le matériau retenu doit pouvoir se déformer légèrement pour accepter des défauts d'alignement ou de géométrie, il doit pouvoir absorber des particules qui ont échappé à la filtration (jusqu'à une taille de 15 microns), résister au grippage, à la corrosion et à la température (180°). On utilise aujourd'hui des feuillards en tôle (épaisseur 1 à 2 mm) revêtus de mélanges Al / Sn ou Cu / Pb (3 dixièmes). Ces derniers ont une meilleure résistance mécanique (pression admissible de 75 MPa avec un taux de Pb suffisamment bas, contre 45) mais ils résistent moins au grippage. On dépose donc dessus une couche d'un mélange Pb Sn Cu de 15 à 35 microns d'épaisseur. Pour éviter la diffusion de l'étain dans le Cu Pb, ce qui serait nuisible à sa tenue mécanique, on interpose une barrière de nickel de quelques microns.

### C- Piston :

Le piston peut être décomposé en quatre parties principales, figure.9 :

- La **tête** ou fond qui reçoit les efforts dus aux gaz ;
- Le **porte segments** qui, par l'intermédiaire des segments, assure l'étanchéité aux gaz et à l'huile et dissipe une partie des calories reçues vers le fluide de refroidissement ;
- Le logement de l'axe de piston ou **trou d'axe**;
- La **jupe**, ou partie frottante, dont le rôle est de guider porte-segments et de dissiper une partie des calories.

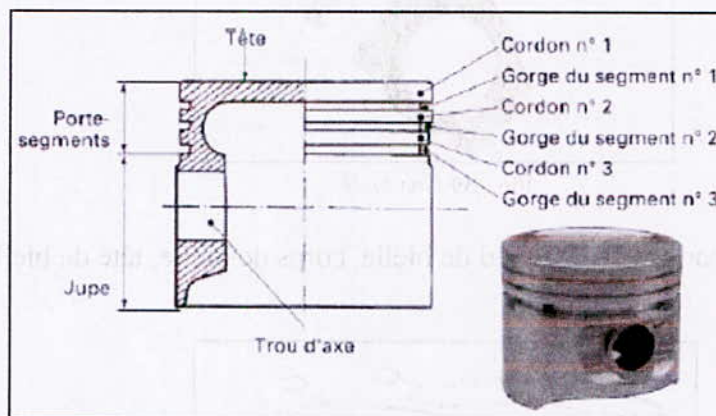


Fig. 41 Un piston

Le piston et les segments doivent transmettre au vilebrequin, par l'intermédiaire de la bielle, les efforts dus aux gaz (jusqu'à 14 à 18 MPa pour les moteurs diesels suralimentés de camions).

Ils forment la chambre de combustion qui doit être étanche aux gaz et à l'huile. Ils doivent être suffisamment isolants pour ne pas fournir trop de calories au fluide de refroidissement, tout en évitant formation de points chauds et de grippage.

Il faut que le piston soit aussi léger que possible et le moins encombrant possible (distance entre le trou d'axe et la tête la plus réduite pour avoir un moteur compact).

La dilatation du piston doit être telle que le jeu piston/chemise varie peu car trop de jeu à froid provoque des claquements et pas assez de jeu à froid un grippage. Le piston doit avoir une bonne résistance mécanique en fatigue.

### D- Segments :

Le premier segment, en partant de la tête de piston, est appelé "coup de feu". Le second est le segment d'étanchéité, et le troisième le segment racleur. On appelle battement le jeu axial entre le segment et sa gorge (de 30 à 50 microns), et jeu en fond de gorge le jeu radial (de 2 à 4 dixièmes). Les segments sont fréquemment en fonte ou en acier fortement allié (pour les racleurs). Pour éviter que les coupes des trois segments soient alignées (risquant de faciliter le passage des gaz), on dispose les segments de manière à ce que les coupes soient à  $120^\circ$  les unes des autres. Sur un deux-temps, ils sont même indexés en rotation pour éviter qu'une coupe passe devant une lumière de transfert.

Les rôles de la segmentation sont les suivants :

- Assurer l'étanchéité aux gaz : ce rôle est surtout assuré par le segment coup de feu. Il est essentiel pour diminuer le *blow-by* (gaz combustion passant dans le carter-cylindres) et la température des segments intérieurs ;
- Assurer l'étanchéité à l'huile de lubrification: c'est surtout le rôle du segment racleur mais le segment d'étanchéité a aussi une grande importance ;
- Évacuer la chaleur du piston vers le cylindre.

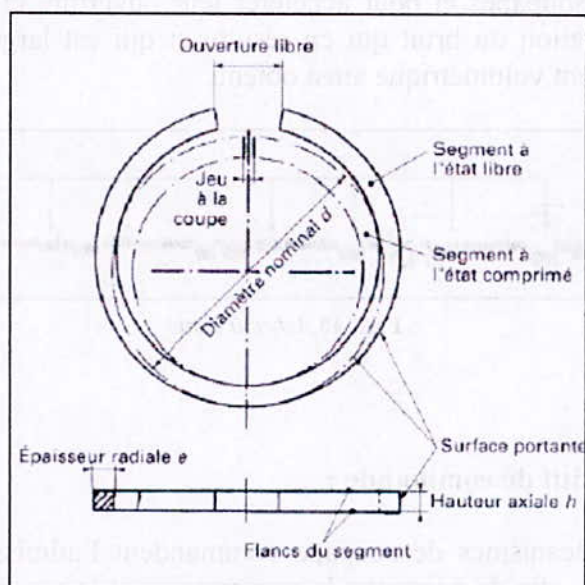


Fig. 43 Schéma d'un segment

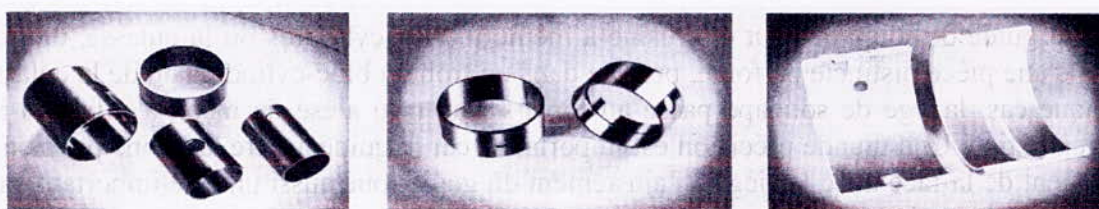


Fig. 44 Des coussinets

Afin d'être efficace, un segment doit rester plaqué contre la face inférieure de la gorge pratiquée dans le piston. Il faut donc s'assurer que les efforts de pression exercés par le mélange au PMH soient supérieurs à l'effort d'inertie qui aurait tendance à le faire "décoller" (c'est ce qu'on appelle le battement d'un segment). La probabilité de voir apparaître ce phénomène est maximale juste avant le PMH, puisque la pression y est encore moins forte que lors de la course motrice après le PMH.

### E- Arbre à came :

Les arbres à came sont généralement en fonte nodulaire ou en fonte malléable à coeur noir, parfois en acier forgé. Ils tournent dans des paliers lisses fixés sur la culasse, ou percés dans la culasse même. Pour tenir à l'usure, les arbres à came acier sont cémentés trempés ou nitrurés, et ceux en fonte trempés.

Une came consiste en une rampe d'ouverture, une partie excentrée appelée lobe, une rampe de fermeture et un talon. La forme ou le profil des comes est déterminé très soigneusement de façon à ce qu'elles ouvrent les soupapes à la bonne vitesse et les soulèvent sans imposer de contrainte excessive aux parties mobiles et avec minimum de bruit. Plusieurs types de comes sont employés : quart de course, trois-quarts de course et pleine course. Les comes pleine course sont employées dans les moteurs à haut rendement. Elles sont conçues pour ouvrir davantage les soupapes et pour accélérer leur ouverture et leur fermeture, sans tenir compte de l'augmentation du bruit qui en résulte et qui est largement compensé par l'accroissement du rendement volumétrique ainsi obtenu.

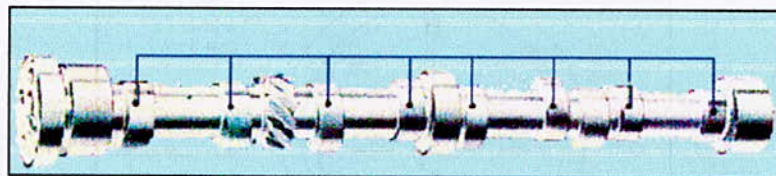


Fig. 45 Arbre à came

### F- Soupapes et leur dispositif de commande :

Les soupapes et mécanismes de soupape commandent l'admission de l'air dans le cylindre, scellent le cylindre afin de permettre la compression et la combustion du mélange et permettent l'évacuation des gaz brûlés des cylindres après combustion. Les soupapes fonctionnent sous des conditions extrêmes de chaleur et de pression.

Le guide de soupape peut être usiné à même le bloc-cylindres ou la culasse, ou peut être fait d'une pièce distincte de fonte, pressée dans un trou du bloc-cylindres ou de la culasse. En chaque cas, la tige de soupape passe au travers d'un trou alésé de façon à offrir un jeu adéquat à la tige. Une grande précision est importante, car le guide assure la bonne position et l'alignement de la face avec le siège. L'ajustement du guide joue aussi un rôle important dans la dissipation de la chaleur de la soupape.

Un siège de soupape est la surface usinée du bloc-cylindres ou de la culasse qui s'adapte pour former un bouchon. Les sièges de soupape peuvent être découpés dans le bloc-cylindres de fonte ou de la culasse, ou peuvent être des pièces insérées faites d'un acier

spécial résistant à la chaleur, pressées, contractées, ou vissées dans une ouverture alésée du moulage. Les sièges de soupape d'admission sont souvent une surface usinée de la pièce moulée, alors que les sièges de soupape d'échappement sont généralement des pièces insérées.

Les ressorts de soupape sont employés pour fermer les soupapes. Ce sont des spirales faites d'acier à ressort de haute qualité; ils sont usinés à plat aux extrémités pour une distribution plus uniforme de la pression. La plupart des moteurs utilisent un ressort par soupape, bien que quelques uns puissent en employer deux ou trois, l'un étant placé à l'intérieur de l'autre. Des ressorts multiples sont employés pour assurer une distribution de la pression encore plus uniforme. Les ressorts de soupape sont maintenus par deux coupelles d'appui, qui, à leur tour, sont maintenues en place sur la tige de soupape des clavettes coniques faites de deux pièces.

La pression exercée par le ressort sur la soupape doit être suffisante pour assurer que la soupape et le poussoir suivent la came et se ferment de façon hermétique. Si cette pression est insuffisante, la soupape ne se fermera pas hermétiquement aux vitesses élevées du moteur mais rebondira ou vibrera, créant ainsi des ratés du moteur à haute vitesse. Une diminution de la pression du ressort peut être causée par des ressorts de soupape affaiblis ou par une rectification excessive de la face et du siège de soupape. Lorsque les soupapes et les sièges sont rectifiés, la soupape se trouve plus bas dans le bloc-cylindres ou la culasse, et la tige dépasse sur une plus grande longueur.

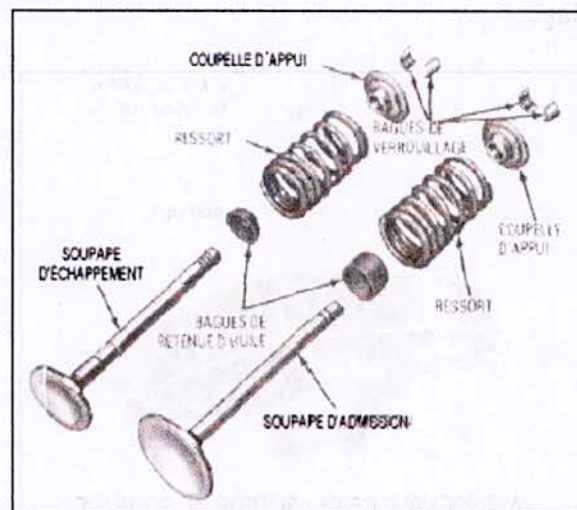


Fig. 46 Les éléments de la soupape

Les poussoirs de soupape sont des pièces placées entre l'extrémité de la tige de soupape (moteurs à soupapes latérales), ou la tige de poussoir (moteurs à soupapes en tête) et l'arbre à cames. Le poussoir se déplace sur une came de l'arbre à cames et lorsque le lobe de la came passe sous le poussoir, il le soulève. Les poussoirs de soupape peuvent être de type *mécanique* ou *hydraulique*.

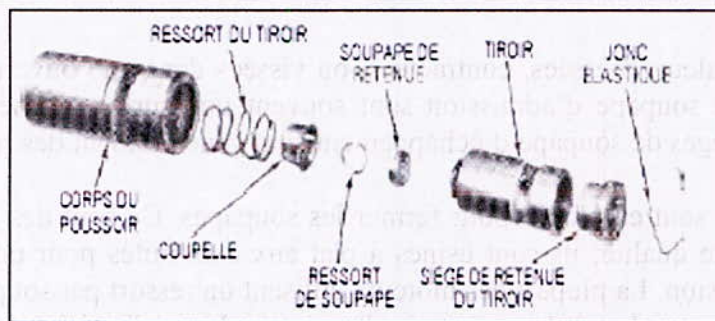


Fig. 47 La construction d'un poussoir à commande hydraulique

Les culbuteurs sont employés pour inverser le sens du mouvement soupape-poussoir. Le mouvement ascendant du poussoir, lorsque la came passe au-dessous, est transmis à une des extrémités du culbuteur par la tige de poussoir. Étant donné que le culbuteur pivote en son milieu, une des extrémités s'élève alors que l'autre s'abaisse. L'autre extrémité du culbuteur entre en contact avec la tige de soupape. A mesure que le poussoir s'élève, la soupape s'abaisse pour s'ouvrir.

Dans quelques moteurs, les culbuteurs sont supportés par un axe de culbuteurs creux qui est fixé par des supports à la culasse du moteur. Des bagues placées dans les culbuteurs aident à en réduire l'usure. Dans d'autres moteurs, les culbuteurs sont fixés à la culasse et pivotent sur un goujon de culbuteur. Le culbuteur est maintenu en place sur le goujon par une rotule et un écrou de réglage.

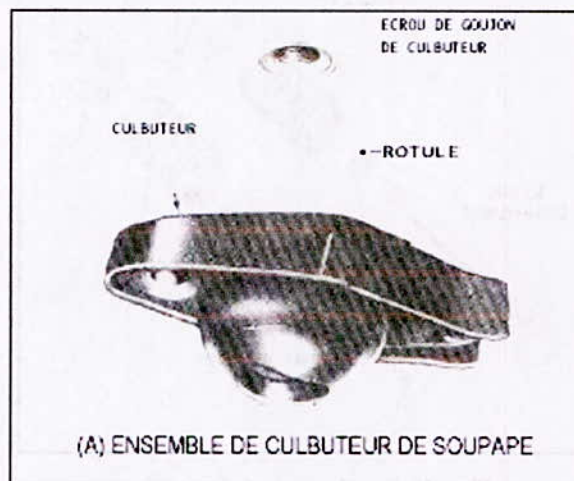


Fig. 48 Les culbuteurs de type à goujon et à rotule

## II.4 Démontage et Remontage du moteur Diesel :

Pour tous les travaux d'entretien, de réglage, de réparation ; il suffit de mettre en considération la méthode de montage-remontage d'un organe ou d'un moteur complet.

Les opérations de démontage et de remontage demandent la recherche d'une méthode plus rapide et plus efficace et sans détérioration des pièces de fonctionnement du moteur.

Pour cette raison, et pour gagner du temps dans la réparation ou le réglage, le mécanicien doit respecter la règle de démontage-remontage d'un moteur à essence ou diesel.

### II.4.1 Les éléments du bloc-cylindres :

- ◆ Bouchon de remplissage d'huile sur couvercle ;
- ◆ Couvercle des culbuteurs goujonné ;
- ◆ Joint du couvercle des culbuteurs ;
- ◆ Vis de culasse avec sa rondelle plate ;
- ◆ Culasse équipée ;
- ◆ Bouchon expansible ;
- ◆ Joint de culasse;
- ◆ Bloc cylindre;
- ◆ Tôle droite de fermeture du carter;
- ◆ Tôle gauche de fermeture du carter;
- ◆ Carter d'embrayage;
- ◆ Bouchon AR d'arbre à came.
- ◆ Goujons ;
- ◆ Carter de distribution ;
- ◆ Joint de carter de distribution ;
- ◆ Tôle goujonnée support de carter ;
- ◆ Joint de tôle support de carter ;
- ◆ Joint de tôle support ;
- ◆ Joint de palier arrière;
- ◆ Joint de bac inférieur;
- ◆ Bac inférieur;
- ◆ Bouchon aimante de vidange avec son joint;
- ◆ Joint entre carter inférieur et cylindre.

### II.4.2 Les éléments d'embellage :

- ◆ Chemise seule ;
- ◆ Joint de chemise;
- ◆ Piston avec son axe et segments;
- ◆ Frein d'axe de piston (circlips);
- ◆ Segment supérieur chromé;
- ◆ 2 segments d'étanchéité;
- ◆ Segment racleur;
- ◆ Douille de pied de bielle;
- ◆ Bielle complète;
- ◆ Boulon de bielle;
- ◆ Rondelle;

- ◆ Ecou;
- ◆ Bouchon du trou de graissage;
- ◆ Poulie sur vilebrequin;
- ◆ Butée avant du vilebrequin;
- ◆ Chapeau de palier avant;
- ◆ Chapeau de palier milieu;
- ◆ Coussinet de palier milieu;
- ◆ Frein d'arrêt des vis du volant;
- ◆ Vis de fixation du volant;
- ◆ Couronne du démarreur;
- ◆ Vilebrequin;
- ◆ Chapeau du palier arrière;
- ◆ Clavette disque;
- ◆ Pignon de distribution.

#### II.4.3 Les outils d'intervention :

- ◆ Clé à pipe 10, 11, 12, 13, 14, 17, 19,21 ;
- ◆ Clé à fourche 10, 11, 12, 13, 14, 17, 19, 21, 24,36;
- ◆ Clé à Allen 4, 6,8;
- ◆ Collier à segment;
- ◆ Bride de maintien;
- ◆ Marteau;
- ◆ Tournevis;
- ◆ UN collier de serrage du filtre à huile;
- ◆ Une planche de bois;
- ◆ Un comparateur.

#### II.4.4 Démontage du moteur :

Après avoir déposer le moteur sur le banc d'essai, on procédera à une méthode rapide et efficace ; pour cela on suivra les étapes suivantes :

- ◆ Vidanger l'huile du moteur à l'aide d'un boulon au-dessous du banc inférieur du carter ;
- ◆ Démontez le ventilateur fixé sur la douille de poulie de la pompe à eau ;
- ◆ Dévisser les boulons de fixation de la pompe et on procédera à son enlèvement très doucement ;
- ◆ Démontez toutes les canalisations de gas-oil (pompe, filtre, pompe à injection) ;
- ◆ Déposer le démarreur ;
- ◆ Déposer la pompe de gas-oil et de filtre, ainsi que le filtre d'huile ;
- ◆ Déposer les 3 boulons de fixation de la pompe à injection avec le carter ainsi que son enlèvement ;
- ◆ Dévisser les écrous de fixation du porte injecteur sur la culasse et ranger les portes injecteurs suivant l'ordre ;
- ◆ Desserrer progressivement les écrous de serrage du culbuteur en suivant la règle de démontage du spirale afin d'éviter la déformation ;
- ◆ Dresser les écrous du goujon qui fixe la rampe du culbuteur ;
- ◆ Enlever la rampe du culbuteur avec ses doigts ;
- ◆ Enlever les tiges du culbuteur ;



- ◆ Démontez le collecteur d'échappement ;
- ◆ Dévissez les boulons de fixation de la culasse suivant la règle de la spirale et ranger ces boulons en les mettant à leur position initiale ;
- ◆ Après dressage total des boulons, enlever la culasse doucement ;
- ◆ Poser une brique de maintien des chemises ;
- ◆ Démontez la poulie du vilebrequin à côté du cylindre N°4 et cela après le déblocage du volant moteur ;
- ◆ Dévissez les 6 boulons de fixation du volant moteur (Son extraction doit se faire de manière très délicate vu son poids) ;
- ◆ Tourner le bloc moteur de façon à ce que la face inférieure devienne supérieure ;
- ◆ Dévissez les boulons de fixation du bac inférieur ;
- ◆ Déposer le bac inférieur avec son joint d'étanchéité ;
- ◆ Dévissez les boulons de fixation du carter inférieur et le déposer avec son joint d'étanchéité ;
- ◆ Dévissez le tube d'aspiration avec sa crépine liée par la pompe à huile ;
- ◆ Dévissez les boulons de fixation du cache distributeur.
- ◆ Retirez l'engrenage intermédiaire et dévissez les 2 boulons dans le pignon de l'arbre à came ;
- ◆ Dévissez les boulons de fixation des chapeaux de bielles et déposer les chapeaux et les coussinets ainsi que leur numérotation ;
- ◆ Repérez les bielles par ordre (N°1 côté embrayage) ;
- ◆ Repérez les paliers du vilebrequin par rapport au carter ;
- ◆ Dévissez les vis de fixation des et les déposer avec les coussinets ;
- ◆ Retirez le vilebrequin, les coussinets de paliers, sans oublier les demi rondelles de réglage latéral ;
- ◆ Retirez les brides de maintien des chemises ;
- ◆ Sortir les ensembles chemise- piston- bielle ;
- ◆ Faire sortir les pistons des chemises ;
- ◆ Démontez la pompe à huile.

### II.4.5 Remontage du moteur :

Après contrôle total des pièces et nettoyage, on passera à l'étape de remontage, ce dernier se fait toujours par une succession d'étapes ordonnées en commençant logiquement par les pièces internes du bloc moteur qui deviendront au fur et à mesure du montage inaccessible c'est la raison pour laquelle on les monte en premier. Donc le montage débute à partir de la partie la plus imposante du moteur qui est le bloc.

Pendant la procédure du montage il est conseillé de rennettoyer légèrement chaque pièce qu'on s'apprête à remettre en place, et cela à l'aide d'essence puis de la souffler avec de l'air.

- ◆ Placer les coussinets des paliers par rapport au bloc moteur ;
- ◆ Huiler les coussinets ;
- ◆ Huiler les portées du vilebrequin ;
- ◆ Placer les demi-rondelles de réglage latéral ;
- ◆ Placer les coussinets supérieurs sur les chapeaux de paliers.
- ◆ Placer les chapeaux de paliers en respectant les repaires fixés lors du démontage ;
- ◆ Bloquer les vis de fixation des chapeaux ;
- ◆ Vérifier la libre rotation du vilebrequin et l'absence de points durs ;
- ◆ Placer un comparateur en bout du vilebrequin et vérifier le jeu latéral de ce dernier ;
- ◆ Monter le joint d'étanchéité avec une grande précaution à l'aide d'un outil spécial ;
- ◆ Huiler le diamètre extérieur du joint ;
- ◆ Mettre en place le volant avec des vis neuves, et les bloquer ;
- ◆ Monter à l'aide d'une raclette les joints d'embase sur les chemises pour assurer une bonne portée sur les joints ;
- ◆ Contrôler le dépassement des chemises par rapport au plan de joint du carter- cylindres à l'aide d'un comparateur ;
- ◆ Enlever les chemises du carter après obtention du dépassement correct ;
- ◆ Graisser les pistons avec de l'huile ;
- ◆ Monter les ensembles piston-segment-bielle dans les chemises à l'aide d'un collier à segments ;
- ◆ Le numéro frappé sur la tête de bielle côté opposé à l'arbre à cames, face à la tête de bielle parallèle au plat du dessus de chemise ;
- ◆ Huiler les coussinets et les placer sur les bielles ;
- ◆ Monter les ensembles bielle-piston chemise dans le carter-cylindre en respectant leurs position :
  - Le numéro frappé sur la tête de bielle côté opposé à l'arbre à cames ;
  - Numéro 1 côté volant moteur ;
  - Flèche sur piston côté volant- moteur ;
  - Mettre en place la bride de maintien des chemises.
- ◆ Retourner le moteur ;
- ◆ Emboîter les bielles sur les manetons huilés du vilebrequin ;
- ◆ Placer les chapeaux munis de leurs coussinets en respectant l'appariement avec les bielles ;
- ◆ Visser et bloquer les écrous.
- ◆ Vérifier la rotation libre de l'ensemble mobile et l'absence de points durs ;

- ◆ Monter la loupe à huile avec son joint et sa crépine ;
- ◆ Monter la tôle du côté de distribution ;
- ◆ Procéder au remontage et au calage de la distribution, placer le pignon d'entraînement et l'arbre à cames avec son pignon et le fixer à l'aide de deux boulons (respecter les règles de calage) ;
- ◆ Monter le carter inférieur, le bac inférieur et son joint et le bouchon de vidange ;
- ◆ Monter les poussoirs huilés en respectant leur ordre de pose ;
- ◆ Enlever la bride maintenant les chemises ;
- ◆ Mettre en place la culasse (repose de la culasse) :
  - Placer le joint de culasse a sec sur la culasse. (Respecter la repose) ;
  - Mettre en place la culasse ;
  - Monter les tiges culbuteurs (respecter l'ordre du démontage) ;
  - Visser les vis de la culasse, les bloquer en respectant l'ordre de serrage.
- ◆ Placer la rampe de culbuteur et visser les écrous ;
- ◆ Régler les jeux des culbuteurs ;
- ◆ Placer les cache-culbuteurs et son joint avec de la colle spéciale ;
- ◆ Monter la tôle et la pompe à injection et visser les écrous de fixation (ligner le pignon de la pompe avec le pignon d'entraînement), vérifier que le calage est correct ;
- ◆ Monter les porte- injecteurs sur la culasse ;
- ◆ Placer les pièces de fixation des portes injecteurs et visser les écrous ;
- ◆ Placer les tubes de refoulement entre la pompe et les injecteurs (respecter l'ordre de démontage) ;
- ◆ Placer le filtre à huile :
  - Mettre en place un collier de serrage et débloquer le filtre ;
  - Enlever l'outil et dévisser le filtre ;
  - Huiler le joint du filtre neuf à l'huile moteur ;
  - Visser le filtre jusqu'à ce que le joint vienne en contact avec sa portée sur le carter.
- ◆ Monter la pompe de gasoil sur le bloc- moteur.
- ◆ Monter le filtre de gasoil et visser les 3 boulons et ajouter un col sur les joints de filtre pour éviter les fuites ;
- ◆ Placer le collecteur de dégagement de surpression du carter ;
- ◆ Monter le collecteur d'admission- échappement ;
- ◆ Placer la poulie du vilebrequin ;
- ◆ Monter le système d'embrayage ;
- ◆ Mettre en place le disque, le déport du moyeu est du côté volant ;
- ◆ Centrer le disque à l'aide du mandrin ;
- ◆ Visser progressivement les vis de fixation du mécanisme (plateaux) ;
- ◆ Reposer le couvercle d'embrayage et visser les boulons de fixation sur le bloc- moteur ;
- ◆ Monter le démarreur ;
- ◆ Connecter tout les tubes de liaison entre la pompe de gasoil, filtre, pompe à injection et le tube de retour ;

- ◆ Placer la pompe à eau ;
- ◆ Nettoyer le plan de joint sur la culasse avec un col spécial pour éviter les fuites et visser les boulons de fixation sur la culasse ;
- ◆ Placer le ventilateur ;
- ◆ Régler la tension de courroie entre la poulie du vilebrequin et la poulie de la pompe à eau ;
- ◆ Mettre en place les durites sur la pompe et les serrez avec un collier ;
- ◆ Placer le filtre a air. [8]

## **CHAPITRE III**

# **Anomalies et pannes de marche du moteur Diesel**

### **III. Anomalies et pannes de marche du moteur Diesel :**

#### **III.1 Définition :**

On appelle panne tout vice de fonctionnement qui immobilise un moteur. Ce dernier s'arrête brusquement ou refuse de démarrer, son rendement est faible.

Les incidents de marche sont des perturbations ou des imperfections mécaniques : défaut de troubles, qui diminuent le rendement sans l'annuler. L'utilisation du moteur est encore possible, mais elle devient difficile, ou coûteuse.

Les incidents de marche sont, en général, communs à tout les moteurs à combustion interne, ils se manifestent généralement pour un moteur Diesel par :

- Pannes de démarrage ;
- Le moteur s'arrête de lui-même ;
- Manque de puissance ;
- Bruits anormaux ;
- Fumées excessives à l'échappement ;
- Pression d'huile anormale ;
- Echauffements anormaux ;
- Consommation excessive de combustible ou d'huile ;
- Anomalies d'injection ;
- Anomalies de suralimentation pour un moteur turbocompressé.

#### **III.2 Origines des pannes et des incidents de marche :**

Les pannes, et en général, les incidents de marche sont pour causes : l'usure, les désassemblage, la déformation, la rupture, etc....

Ces anomalies ont-elles même pour origine :

- Une mauvaise qualité des matériaux ;
- Une mauvaise utilisation ; conduite dure, surcharge successive ;
- Une manque d'entretien ;
- Un choc (par exemple : accident). [9]

#### **III.3 Classification sommaire des causes de mauvais fonctionnement :**

##### **1- Le moteur ne démarre pas :**

Si l'on est assuré qu'aucune fausse manœuvre n'a été commise, et que toutes les opérations prescrites pour le lancement du moteur à froid ou à chaud ont été correctement exécutées, les causes de l'insuccès pourront être imputées, par ordre de fréquence décroissante, aussi bien qu'en considération de la plus ou moins grande quantité d'investigation :

### **A- A l'injection :**

Les injecteurs et la pompe d'injection ou leur système d'alimentation présentent des défauts.

### **B- A l'état mécanique du moteur :**

Soit que l'étanchéité des cylindres soit insuffisante, ou qu'un piston, par suite de la dilatation et d'un jeu de fonctionnement insuffisant, coincé dans son cylindre, ou qu'un organe de commande soit décalé ou brisé, ou plus grave, qu'un organe soit rompu ; tous ces défauts pouvant résulter d'ailleurs d'un mauvais graissage, d'un refroidissement insuffisant ou d'une mauvaise utilisation du moteur.

### **2- Le moteur s'arrête de lui-même :**

Il est exceptionnel que cet incident se produise sans qu'il ait été précédé ou accompagné de manifestation, tels que les bruits anormaux, qui sont considérés comme annonciateurs de l'arrêt ( ou survenant brusquement en même temps que lui). Ces bruits mettent en cause les incidents : grippage, rupture d'organe, etc... ; de l'injection. En cas d'échec, les causes de l'incident devra ensuite être recherchée, par un examen méthodique et attentif des divers organes mécaniques du moteur, aussi la nécessité de vérifier les systèmes de refroidissement et de graissage.

### **3- Le moteur fonctionne anormalement :**

Les troubles les plus généralement constatés sont :

- *Irrégularités de fonctionnement :*

- \* au ralenti ;
- \* à la reprise ;
- \* à pleine accélération ;

- *Echauffement anormal.*

- *Manque de puissance.*

- *Consommation excessive de combustible ou d'huile.*

- *Pression d'huile anormale.*

- *Fumées excessive à l'échappement.*

Ces anomalies qui peuvent se manifester séparément ou simultanément, prouvent qu'une ou plusieurs fonctions sont assurées imparfaitement.

A défaut d'indice nettement caractéristique, les mêmes considérations que ci-dessus imposeront l'ordre des investigations. Si le moteur chauffe excessivement, on songera tout d'abord à ce que la combustion ne s'opère plus dans de bonnes conditions ; rapidité, qualité, précision.

Cette analyse, très sommaire, des diverses manifestations de mauvais fonctionnement d'un moteur Diesel, montre que les plus fréquentes sont imputables, en premier lieu, à des défauts de l'alimentation, puis à celles des organes mécaniques du moteur et des systèmes de graissage et de refroidissement.

### III.4 Les pannes provenant du système d'injection :

#### III.4.1 Généralités :

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

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

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

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

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

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

#### III.4.2 Origine de mauvais fonctionnement :

On peut incriminer le fonctionnement d'un ou plusieurs injecteurs, en présence des manifestations caractéristiques suivantes :

- Le moteur refuse de démarrer ;
- Le moteur chauffe excessivement ;
- Le moteur manque de puissance ;
- Emission de fumée noire ou blanche à l'échappement ;
- Consommation excessive en carburant.

#### - Origine de dysfonctionnement des injecteurs :

- \* Une usure excessive (injecteurs usagés) ;
- \* Un encrassement de l'aiguille ;
- \* Une diminution de pression qui peut provenir, soit d'un défaut de réglage ou d'un affaiblissement du ressort qui peut être dû à un service prolongé, ou encore à un échauffement excessif de l'injecteur.[5]



### III.4.3 Contrôle des injecteurs :

Le contrôle et le tarage des injecteurs ne peuvent être entreprise, que si on peut s'entourer de toutes les précautions de propreté indispensable à toutes interventions sur l'équipement d'injection, et si on dispose des moyens d'essais nécessaire (banc d'essai).

#### 1- Pression de tarage :

- Purger par quelques coups l'injecteur ;
- Relever et régler la pression de tarage en agissant sur la vis de réglage (ou pastilles).

#### 2- Jet, pulvérisation :

- Isoler le manomètre de pression ;
- Contrôler par coups brefs (un par seconde) la forme de jet et sa pulvérisation.

#### 3- Etanchéité du siège de l'aiguille :

- Maintenir la pression 10 bars au dessous de la pression de tarage pendant 20 secondes. Aucune goutte ne doit se former.

#### 4- Contrôle du temps de fuite :

- Maintenir la pression juste au dessous de la pression de tarage ;
- Lâcher le levier et chronomètre le temps que met l'aiguille pour passer de 100 à 70 bars. Un temps de 2 à 3 secondes et correct. [5]

### III.5 Les pannes provenant des organes mécaniques du moteur Diesel :

#### III.5.1 Piston et segments :

Lorsque une panne provient d'un piston, que ce soit par usure, grippage ou accident, le piston est généralement à changer. Toutefois l'usure provoque des jeux excessifs qui augmentent la consommation d'huile et engendre des bruits.

Pour que l'étanchéité soit assurée, il faut que les segments adhèrent constamment, d'une part à l'alésage du cylindre, d'autres part aux flancs de gorge de piston. La dilatation du piston doit pouvoir se faire indépendamment de celle du segment, on réalise ces conditions par une détermination précise des dimensions et une réparation judicieuse des jeux..

La mauvaise portée des segments peut provoquer, outre les incidents résultants des défauts de compression et la dilution d'huile de graissage. De graves avaries au piston, et au cylindre (rayures, usure irrégulière et prématurée). On reconnaît que des segments ne soit plus étanches lorsqu'ils possèdent sur leur périphérie, une teinte brune due au passage des gaz brûlés.

### III.5.2 Les bielles :

Chaque bielle doit occuper, par rapport au vilebrequin et au cylindre, une position géométrique définie à chaque instant par celle du piston dans le cylindre. Ceci doit être vérifié soigneusement lorsqu'on remonte un moteur.

Si cette condition n'est pas vérifiée, l'axe de piston ne se confond plus avec celui des cylindres et il produit, lors de fonctionnement, un coincement du piston dans le cylindre.

On constate alors :

- Une tendance du moteur ;
- Une consommation d'huile abondante ;
- Une notable perte de puissance.

Ces défauts vont s'accroissant rapidement, ceci s'explique par la rupture du film d'huile dans le cylindre et les pertes de compression qui s'ensuivent.

D'autre part le frottement s'accroît et le dégagement de la chaleur qui en résulte entraîne le grippage des segments dans leurs gorges, puis rapidement, le grippage du piston lui-même ; le moteur alors mis hors d'usage.

#### - Revêtement des surfaces frottantes :

Le revêtement consiste à garnir, d'une mince couche d'alliage antifriction, les surfaces frottantes des organes tels que : tête de bielle, coussinets de palier, articulations de culbuteurs, etc....

La technique actuelle conduit à choisir des coussinets minces ou des bagues roulées, ayant un revêtement antifriction de faible épaisseur. Les matériaux antifriction des coussinets doivent répondre à certains critères :

- La compatibilité, ou la capacité d'un coussinet de recevoir un arbre, en rotation en présence d'un lubrifiant sans friction excessive.
- La résistance à la fatigue, ou la capacité d'un coussinet à supporter un arbre en rotation, sur lequel s'exerce une lourde charge ou une pression, sans que le coussinet ne se brise, ou le métal fonde.

### III.5.3 Le vilebrequin :

Les tourillons, les manetons ainsi que leurs coussinets, ont tendance à s'user au cours du fonctionnement du moteur. Les pressions exercées sur les tourillons et les manetons, le mauvais alignement des pièces, les vibrations excessives du moteur, les variations de quantités d'huile provenant aux coussinets, ainsi les matières abrasives qui se trouvent dans l'huile pouvant causer des rayures, des rainures, ou une usure des tourillons et des manetons, ou des coussinets. Tous ces facteurs augmentent le jeu de lubrification du coussinet.

#### - Rénovation du vilebrequin :

Tout maneton ou tourillon usé, ovalisé ou devenu conique au-delà des limites permises, ou toute portée de coussinet rugueuse, corrodée, rayée ou endommagée d'une façon ou d'une autre, doit être rectifiée au diamètre inférieur à l'aide de rectifieuse ou de tour pour vilebrequins. On peut également métalliser les vilebrequins usés ou endommagés.

### III.5.4 Le bloc-cylindres :

Les défauts qui peuvent affecter les cylindres ou les chemises et compromettre le bon fonctionnement du moteur, sont les suivantes :

**a)- L'usure qui peut provenir :**

- D'un long usage du moteur ;
- De l'introduction d'impuretés dans les mélanges gazeux par suite d'une mauvaise filtration de l'air ;
- D'un manque de graissage, d'un graissage insuffisant ou de l'emploi d'une huile de mauvaise qualité ;
- De manque ou d'excès de jeu entre les pistons et les cylindres ;
- D'un mauvais alignement du vilebrequin.

**b)- Des fêlures, qui proviennent :**

- D'un choc ;
- D'un gel ;
- D'un échauffement exagéré.

c)- Une déformation de plan de joint due à un échauffement anormal qui peut provenir : d'un mauvais refroidissement, d'un mauvais graissage.

d)- La détérioration des sièges et des guides de soupapes, dans les moteurs à soupapes latérales, due à un échauffement anormal.

### III.5.5 Soupapes et mécanismes de soupape :

Si le fonctionnement des soupapes est défectueux, les avantages du taux de compression élevé, de la puissance et de l'économie de fonctionnement sont perdus. Le carbone, la corrosion, l'usure et le désalignement sont des résultats inévitables d'un fonctionnement normal du moteur. Les problèmes des soupapes comprennent le collage, les brûlures, la formation de dépôts, l'usure et les fuites.

Le collage des soupapes peut être causé par des résidus de carbone non brûlés qui se forment sur la tige de la soupape et sur les guides de soupape. Des tiges de soupape ou des guides usés accélèrent la formation de dépôts de carbone. Le collage des soupapes peut aussi être causé par des tiges de soupape faussées par suite d'une chaleur excessive, de ressorts de soupape ou de coupelles d'appuis tordus, d'un mauvais alignement du guide de soupape avec le siège, ou d'une lubrification insuffisante.

Les brûlures de soupape peuvent être causées partout ce qui empêche un contact normal de la face de la soupape d'échappement avec son siège, une faible dispersion de la chaleur, la surcharge ou la surchauffe du moteur, des ressorts de soupape faibles ou tordus, et une distorsion causée par un mauvais serrage de la culasse.[9]

### III.5.6 Les pannes provenant du système de graissage (lubrification) :

#### 1- La pompe à huile :

L'usure des éléments de la pompe entraîne une lubrification insuffisante. La pression engendrée par la pompe à huile augmente avec la vitesse du moteur. Le système de lubrification comporte une soupape de dérivation qui libère toute pression excessive à vitesse élevée ; donc une pression trop élevée qui résulte d'un mauvais réglage de la soupape de dérivation peut provoquer un excès d'huile.

#### 2- L'huile de lubrification :

La lubrification insuffisante ne peut provenir, en dehors des obstructions totales ou partielles, ou des ruptures des canalisations de graissage, que de l'utilisation de l'huile (de mauvaise qualité).

Il y a intérêt à choisir des huiles correspondant à la température ambiante (la viscosité de l'huile varie peu avec la température) parce qu'elles contribuent à faciliter les départs et retardent l'usure du moteur.

### III.5.7 Les pannes provenant du système de refroidissement :

Il faut distinguer, parmi les difficultés dues au refroidissement d'un échauffement du moteur lui-même, principalement dû à des incidents mécaniques, de celles qui ont pour cause un mauvais fonctionnement du circuit de réfrigération.

#### 1- La pompe à eau :

Les pannes qui peuvent l'affecter sont rares. Elles ne peuvent provenir que d'une fuite ou d'un manque d'entraînement de la pompe, exceptionnellement, du bris d'une ailette de la turbine.

- Les fuites sont dues toujours à mauvais serrage, ou un mauvais état des joints d'étanchéité.
- Le manque d'entraînement de la pompe peut avoir pour cause un grippage, ou formation de gel, ou une cause qui s'intéresse pas à proprement parler l'état de la pompe ; une rupture de la courroie.

## 2- Le radiateur :

La cause la plus fréquente de pannes du système de refroidissement est la formation de calcaire dans le radiateur et même dans les chemises d'eau. Le calcaire provient du chauffage continu de l'eau qui contient des minéraux comme les sels de calcium et de magnésium. Ces sels se déposent pour former le calcaire, celui-ci crée une barrière isolante entre les parties métalliques et le liquide de refroidissement.

Si le tube de trop plein est bouché ou gelé il y a risque d'éclatement des raccords, du radiateur par la surpression de la vapeur.

## 3- Le ventilateur :

Pour le ventilateur, seuls une pale brisée, ou tendue ou un desserrage des pales peuvent compromettre son fonctionnement correct. Le manque d'entraînement du ventilateur peut avoir pour cause une courroie rompue ou insuffisamment tendue.

**\*Remarque :** Si le système de refroidissement est muni d'un calorstat ou régulateur de température, une panne peut provenir de ce dernier s'il ne s'ouvre pas à la bonne température, ce qui empêche la circulation d'eau dans le radiateur et par suite un refroidissement insuffisant. [3]

### III.6 Récapitulation des principaux types de pannes et incidents de fonctionnement :

#### III.6.1 Pannes de démarrage :

| Causes possibles   | Remèdes  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Batterie déchargée ou en mauvais état.</li> <li>- Contacteur de démarreur détérioré.</li> <li>- Commande de contacteur mal réglée ou hors d'usage (levier desserré, tirette cassée).</li> <li>- Coupures ou courts-circuits dans les enroulements ou le collecteur du démarreur.</li> <li>- Paliers usés ou grippés; mauvais contact des balais (usure, ressorts faibles, collecteur gras).</li> <li>- Lanceur ne pouvant s'engrener (corps étranger, des serrage ou rupture du dispositif d'accouplement).</li> <li>- Charbons défectueux.</li> <li>- Induit hors-service.</li> <li>- Fourchette de démarreur cassée.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Examen et recharge s'il y a lieu.</li> <li>- Remise en état ou remplacement.</li> <li>- Réglage ou remplacement.</li> <br/> <li>- Démontage et remise en état.</li> <br/> <li>- Démontage ou remplacement des balais ressorts après tarage s'il y a lieu.</li> <br/> <li>- Remise en état ou remplacement.</li> <li>- Démontage, examen, contrôle des diamètres.</li> <li>- Changer les charbons.</li> <li>- Changer le démarreur.</li> <li>- Changer la fourchette.</li> </ul> |

Tab III. 1 pannes de démarrage

#### III.6.2 Le moteur s'arrête de lui-même :

##### a)- Le moteur s'arrête au démarrage :

| Causes possibles  | Remèdes   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pas du gas-oil dans le réservoir.</li> <li>- Electrovanne de stop défectueux.</li> <li>- Anomalies dans le circuit d'alimentation gas-oil : <ul style="list-style-type: none"> <li>* Filtre gas-oil colmaté ;</li> <li>* Raccords tuyauteries desserrées ;</li> <li>* Tuyauteries percée ;</li> <li>* Aération réservoir bouchée ;</li> <li>* Vis de purge filtre desserrée ;</li> <li>* Présence d'eau.</li> </ul> </li> <li>- Anomalies dans la pompe d'injection</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mettre du gas-oil dans le réservoir.</li> <li>- Réparer l'électrovanne.</li> <li>- Contrôler le circuit.</li> <br/> <li>- Nettoyer ou Changer le filtre.</li> <li>- Resserrer.</li> <li>- Remplacer.</li> <li>- Déboucher.</li> <li>- Changer le gas-oil.</li> <br/> <li>- Contrôler la pompe d'injection → Remplacer</li> </ul> |

Tab III. 2.a Le moteur s'arrête au démarrage

**b)- Le moteur tourne en charge et cale au ralenti :**

| Causes possibles  | Remèdes  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mauvais réglage de ralenti.</li> <li>- Anomalies dans le circuit d'alimentation gas-oil :</li> <li>* Filtre gas-oil colmaté ;</li> <li>* Raccords tuyauteries desserrées ;</li> <li>* Tuyauteries percée ;</li> <li>* Aération réservoir bouchée ;</li> <li>* Vis de purge filtre desserrée ;</li> <li>* Présence d'eau.</li> <li>- Injecteurs défectueux, ou fonctionnent anormalement.</li> <li>- Défaut d'étanchéité sur les cylindres.</li> <li>- Fuites aux soupapes ou segmentation défectueuse.</li> <li>- La pompe d'injection mal calée.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Régler correctement le ralenti.</li> <li>- Contrôler le circuit.</li> <li>- Changer le filtre.</li> <li>- Resserrer.</li> <li>- Remplacer.</li> <li>- Déboucher.</li> <li>- Changer le gas-oil.</li> <li>- Contrôler les injecteurs (tarage, calamine, étanchéité).</li> <li>- Contrôler les pressions de compression.</li> <li>- Changer les éléments défailants.</li> <li>- Caler correctement la pompe d'injection.</li> </ul> |

Tab III. 2. b Le moteur tourne en charge et cale au ralenti

**c)- Le moteur s'arrête en charge :**

| Causes possibles  | Remèdes  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pas du gas-oil dans le réservoir.</li> <li>- La charge entraînée par le moteur est anormale.</li> <li>- La pompe d'injection mal entraînée.</li> <li>- Moteur grippé.</li> <li>- Anomalies au niveau du circuit d'alimentation gas-oil :</li> <li>* Filtre gas-oil colmaté ;</li> <li>* Raccords tuyauteries desserrées ;</li> <li>* Tuyauteries percée ;</li> <li>* Aération réservoir bouchée ;</li> <li>* Vis de purge filtre desserrée ;</li> <li>* Présence d'eau.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mettre du gas-oil dans le réservoir et purger</li> <li>- Contrôler la pompe d'injection.</li> <li>- Démontez le moteur → Remis en état.</li> <li>- Nettoyer ou Changer le filtre.</li> <li>- Resserrer.</li> <li>- Remplacer.</li> <li>- Déboucher.</li> <li>- Changer le gas-oil.</li> </ul> |

Tab III. 2. c Le moteur s'arrête en charge

### III.6.3 Manque de puissance :

| Causes possibles  | Remèdes   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Filtre à air colmaté.</li> <li>- Injecteurs défectueux :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>* Tarage ;</li> <li>* Aiguilles usées ou gommées ;</li> <li>* Ressorts brisé.</li> </ul> </li> <li>- Moteur défectueux :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>* Fuites, jeux dans les soupapes.</li> <li>* Cylindres : usure ;</li> <li>* Gommage segments ;</li> <li>* Grippage ;</li> </ul> </li> <li>- Anomalies au niveau du circuit d'alimentation gas-oil :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>* Filtre gas-oil colmaté ;</li> <li>* Raccords tuyauteries desserrées ;</li> <li>* Tuyauteries percée ;</li> <li>* Aération réservoir bouchée ;</li> <li>* Vis de purge filtre desserrée ;</li> <li>* Présence d'eau.</li> </ul> </li> <li>- Panne au niveau de pompe d'injection.</li> <li>- Si le moteur est turbocompressé : Turbocompresseur défectueux.</li> <li>- Réfrigérant d'air colmaté.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nettoyer ou remplacer le filtre.</li> <li>- Contrôler les injecteurs.</li> <br/> <li>- Faire réparer.</li> <li>- Faire réparer.</li> <br/> <li>- Nettoyer ou Changer le filtre.</li> <li>- Resserrer.</li> <li>- Remplacer.</li> <li>- Déboucher.</li> <li>- Changer le gas-oil.</li> <br/> <li>- Contrôler la pompe d'injection.</li> <li>- Réparer le turbocompresseur.</li> <br/> <li>- Nettoyer le réfrigérant.</li> </ul> |

Tab III. 3 Manque de puissance

### III.6.4 Bruits anormaux :

| Causes possibles  | Remèdes   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Jeux aux culbuteurs.</li> <li>- Si le moteur est turbocompressé : pompage, vibration.</li> <li>- Soupapes gommées.</li> <li>- Ressort de soupape cassé, le piston touche le clapet dans sa course.</li> <li>- Soupape chalumée : fuite de gaz de combustion.</li> <li>- Injecteurs défectueux :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>* Aiguille grippée ;</li> <li>* Nez d'injecteur calaminé ;</li> <li>* Pulvérisation incorrecte ;</li> <li>* Mauvaise pression de tarage ;</li> </ul> </li> <li>- Axe de piston défectueux.</li> <li>- Usure de la chemise.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Régler le jeu → Voir notice technique pour avoir les valeurs préconisées.</li> <li>- Aller à la <i>panne III.6.10</i>. Démonter et contrôler.</li> <br/> <li>- Changer le ressort.</li> <br/> <li>- Changer la soupape.</li> <br/> <li>- Contrôler → Régler ou remplacer.</li> <br/> <li>- Démontage → Contrôle ; voir la notice technique.</li> </ul> |



|  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Grippage piston.</li> <li>- Mauvaise lubrification.</li> <li>- Lubrification défectueuse.</li> <li>- Usure des coussinets de tête de bielle et paliers vilebrequin.</li> <li>- Problème de combustible ; combustible inadapté.</li> <li>- Soupapes : usure, poussoirs.</li> <li>- Ressort de soupape brisé.</li> <li>- Jeux aux culbuteurs.</li> <li>- Segmentation défectueuse.</li> <li>- Usure piston/chemise.</li> <li>- Calage moteur : avance à l'injection.</li> <li>- Surcharge du moteur.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Démontage → Contrôle ; voir la notice technique.</li> <li>- Contrôle des niveaux, de la pression et du lubrifiant (viscosité).</li> <li>- Démontage → Remplacement.</li> <li>- Remplacer le combustible.</li> <li>- Changer les éléments défectueux.</li> <li>- Changer le ressort.</li> <li>- Régler le jeu → Voir notice technique du constructeur.</li> <li>- Changer les segments endommagés.</li> <li>- Démontage → Contrôle : voir notice technique du constructeur.</li> <li>- Voir notice pour régler le calage.</li> <li>- Chercher la cause.</li> </ul> |
|--|--|

Tab III. 4 Bruits anormaux

### III.6.5 Fumées excessives :

| Causes possibles   | Remèdes   |
|--|---|
| <p><b>1- Fumée noire ou gris foncée :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aération local insuffisant.</li> <li>- Filtre à air encrassé.</li> <li>- Si votre moteur est turbocompressé, nous traitons ça à la panne III.6.10.</li> <li>- Défaut d'étanchéité des soupapes.</li> <li>- Défaut d'étanchéité des cylindres.</li> <li>- Injecteurs défectueux :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>* Détarage ;</li> <li>* Aiguille grippée ;</li> <li>* Siège non étanche ;</li> <li>* Levée aiguille trop grande ;</li> <li>* Injecteur mal positionné.</li> </ul> </li> <li>- La pompe d'injection mal calée.</li> <li>- Correcteur de débit défectueux.</li> <li>- Altimétrique défectueux.</li> <li>- Débit de pompe d'injection incorrecte.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Remédier.</li> <li>- Nettoyer ou remplacer le filtre.</li> <li>- Aller à la panne III.6.10</li> <li>- Contrôler les pressions de compression, et changer les pièces défectueuses (soupapes ou chemises).</li> <li>- Effectuer un contrôle des injecteurs.</li> <li>- Contrôler la pompe → Recaler</li> <li>- Passage au banc d'essai.</li> <li>- Contrôle et réglage du régulateur → Passage au banc d'essai.</li> </ul> |
| <p><b>2- Fumée bleue à blanchâtre :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Niveau d'huile dans le cylindre trop haut.</li> <li>- Qualité ou pression d'huile incorrecte.</li> <li>- Défaut d'étanchéité sur les cylindres.</li> <li>- Fuites aux soupapes.</li> <li>- Segmentation défectueuse : gommage ou cassure.</li> <li>- Usure piston/chemise.</li> <li>- Jeux de guides de soupapes.</li> <li>- Filtre à air à bain d'huile.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vidanger de l'huile.</li> <li>- Vérifier la qualité d'huile (viscosité), et contrôler la pression d'huile et la comparée avec les données du constructeur.</li> <li>- Contrôler les pressions de compression, changer les segments concernés.</li> <li>- Contrôler les pressions de compression.</li> <li>- Changer les guides.</li> <li>- Contrôler le niveau de bain d'huile.</li> </ul>                               |

|   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Usure des cylindres.</li> <li>- Si votre moteur est suralimenté ; entraînement d'huile de lubrification turbo.</li> </ul> <p><b>3- Fumée blanche :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Condensation moteur froid ; introduction d'eau.</li> <li>- Eau dans le gas-oil.</li> <li>- Joint de culasse défectueux.</li> <li>- Fissure chemise (humide) ou culasse.</li> <li>- Si votre moteur est suralimenté ; réfrigérant d'air avec réfrigérant air/eau.</li> <li>- Combustible imbrûlé ; Qualité de combustible.</li> <li>- Température de combustible → « ratés » de combustion.</li> <li>- Etat du moteur anormal.</li> <li>- Défaut d'étanchéité sur les cylindres.</li> <li>- Fuites aux soupapes.</li> <li>- Avance à injection décalée (retard).</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Faire un contrôle des pressions de compression.</li> <li>- Réparer le turbocompresseur par un spécialiste.</li> </ul><br><ul style="list-style-type: none"> <li>- Changer le gas-oil.</li> <li>- Remplacer.</li> <li>- Contrôler → Réparer.</li> <li>- Contrôler → Réparer.</li> <li>- Changer le combustible.</li> <li>- Changer le combustible → voir spécification de limite basse température.</li> <li>- Faire un contrôle des pressions de compression.</li> <li>- Contrôler le calage moteur.</li> </ul> |
|---|--|

Tab III. 5 Fumées excessives

**III.6.6 Pression d'huile anormale :**

| Causes possibles  | Remèdes  |
|---|--|
| <p><b>1- Pression d'huile trop forte :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Huile trop visqueuse ;</li> <li>* Huile trop froide ;</li> <li>* Viscosité inadaptée ;</li> <li>* Huile fortement polluée.</li> <li>- Filtre à huile colmaté.</li> <li>- Clapet de décharge coincé/ou fermé.</li> </ul> <p><b>2- Pression d'huile trop faible :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Filtre à huile colmaté.</li> <li>- Clapet de décharge coincé/ou ouvert.</li> <li>- Huile trop fluide : dilution.</li> <li>- Huile trop chaude.</li> <li>- Viscosité inadaptée.</li> <li>- Crépine de pompe obstruée.</li> <li>- Prise d'air à l'aspiration.</li> <li>- Pompe à huile usée.</li> <li>- Bris de tuyauterie.</li> <li>- Usure moteur : Palier ou tête de bielle.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vidanger et changer l'huile.</li> <li>- Remplacer la cartouche.</li> <li>- Réparer.</li> <li>- Remplacer la cartouche.</li> <li>- Réparer le clapet.</li> <li>- Contrôler l'état des injecteurs.</li> <li>- Contrôler la température → aller à la panne III.6.7</li> <li>- Changer l'huile.</li> <li>- Vidanger et nettoyer la crépine.</li> <li>- Resserrer les raccords.</li> <li>- Remplacer la pompe à huile.</li> <li>- Remplacer.</li> <li>- Faire une révision.</li> </ul> |

|   |   |
|---|---|
| <p><b>3- Chute brutale de la pression d'huile :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Niveau d'huile bas.</li> <li>- Rupture de canalisation.</li> <li>- Avarie de pompe à huile.</li> <li>- Clapet de décharge ou ressort cassé.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vérifier le bouchon de vidange.</li> <li>- Réparer.</li> <li>- Réparer la pompe.</li> <li>- Réparer ou remplacer.</li> </ul> |
|---|---|

Tab III. 6 Pression d'huile anormale

**III.6.7 Echauffements anormaux :**

| Causes possibles   | Remèdes   |
|--|---|
| <p><b>1- Excès de température du liquide réfrigérant :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pas de liquide de refroidissement.</li> <li>- La pompe à eau est mal entraînée.</li> <li>- Radiateur ne tourne pas.</li> <li>- Calorstat est mauvaise.</li> <li>- Radiateur encrassé.</li> <li>- Pompe à eau défectueuse :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>* Usure ;</li> <li>* Prise d'air ;</li> <li>* Cavitation.</li> </ul> </li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Remplir le réservoir.</li> <li>- Réparer la pompe.</li> <li>- Réparer.</li> <li>- Remplacer la vanne thermostatique.</li> <li>- Nettoyer ou remplacer.</li> <li>- Réparer la pompe.</li> </ul> |
| <p><b>2- Excès de température d'huile :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Niveau d'huile incorrecte.</li> <li>- Réfrigérant d'huile encrassé.</li> <li>- Vanne thermostatique défectueuse.</li> <li>- Grippage piston.</li> <li>- Echauffement paliers.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mettre ou enlever de l'huile.</li> <li>- Nettoyer.</li> <li>- Remplacer.</li> <li>- Faire une révision du moteur.</li> <li>- Faire une révision du moteur.</li> </ul>                          |
| <p><b>3- Excès de température d'échappement :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Problème de combustion.</li> <li>- Surcharge du moteur.</li> <li>- Injecteurs défectueux.</li> <li>- Calage moteur dérégulé : retard.</li> <li>- Soupape d'échappement non étanche.</li> <li>- Si votre moteur est suralimenté → Aller à la panne III.6.10.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Trouver la cause et remédier.</li> <li>- Effectuer un contrôle des injecteurs.</li> <li>- Régler correctement.</li> <li>- Réparer.</li> <li>- Aller à la panne III.6.10.</li> </ul>            |

Tab III. 7 Echauffements anormaux

### III.6.8 Consommation excessive :

| Causes possibles   | Remèdes   |
|--|---|
| <p><b>1- Consommation d'huile :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fuites dans le circuit de graissage.</li> <li>- Le niveau d'huile trop haut.</li> <li>- Moteur usé : segmentation défectueuse.</li> <li>- Défaut d'étanchéité sur les cylindres.</li> <li>- Fuites aux soupapes.</li> <li>- Guides de soupapes usés.</li> <li>- Etanchéité palier turbo défectueuse.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Réparer ou remplacer.</li> <li>- Mettre le niveau correct.</li> <li>- Contrôle des pressions de compression ; changer les segments concernés.</li> <li>- Réparer.</li> <li>- Remplacer.</li> <li>- Réparer.</li> </ul>                                     |
| <p><b>2- Consommation de combustible :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fuites dans le circuit de graissage.</li> <li>- Moteur en surcharge.</li> <li>- Fumée noire ou grise foncée → Aller à la panne III.6.5.</li> <li>- Injecteurs défectueux :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>* Détarage ;</li> <li>* Aiguille grippée ;</li> <li>* Siège non étanche ;</li> <li>* Levée aiguille trop grande ;</li> <li>* Injecteur mal positionné.</li> </ul> </li> <li>- Pompe d'injection défectueuse.</li> <li>- Calage de pompe incorrect.</li> <li>- Usure des segments.</li> <li>- Défaut d'étanchéité sur les cylindres.</li> <li>- Fuites aux soupapes.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Réparer ou remplacer.</li> <li>- Chercher la cause et faire réparer.</li> <li>- Contrôler les injecteurs.</li> <li>- Contrôler la pompe → Remplacer.</li> <li>- Contrôler → Recaler.</li> <li>- Faire un contrôle des pressions de compression.</li> </ul> |

Tab III. 8 Consommation excessive

### III.6.9 Anomalies d'injection :

#### - Problème d'injecteur :

L'injecteur est constitué de deux éléments principaux:

- La porte injecteur duquel se trouvent les pièces mécaniques de réglage (**tige, poussoir, rondelles...**)
- L'injecteur (nez) comprenant deux éléments (**Aiguille et boîte à aiguille**)

En général, après un certain nombre d'heures de fonctionnement (voir notice technique), il est conseillé de remplacer le nez. Toutefois, l'indice de dysfonctionnement des injecteurs se traduit souvent par une émission de fumées noires.

#### - Problème de pompe d'injection :

Le remède des problèmes d'une pompe d'injection est généralement fait par un atelier possédant un matériel de contrôle adapté (banc d'essai).

Toutefois, il nous est permis de contrôler le circuit d'alimentation de combustible afin d'être surs de la nécessité d'un contrôle de pompe.

**N.B :** Nous avons constaté que les anomalies d'injection sont fait partie dans toutes les pannes qu'on a vues dans le diagnostic. [3]

### III.6.10 Anomalies de suralimentation :

| Causes possibles  | Remèdes   |
|---|---|
| <p><b>1- Manque de pression d'air :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Filtre à air encrassé.</li> <li>- Réfrigérant d'air encrassé.</li> <li>- Fuite au collecteur d'admission.</li> <li>- Compresseur encrassé.</li> <li>- Fuites u collecteur d'échappement.</li> <li>- Obstruction du collecteur d'échappement.</li> <li>- Turbocompresseur encrassé.</li> <li>- Usure de la roue du compresseur.</li> <li>- Usure de la turbine.</li> <li>- Turbocompresseur endommagé.</li> <li>- Rupture soupape ou segment.</li> <li>- Turbocompresseur « bridé » : paliers défectueux, mal lubrifiés.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nettoyer ou remplacer le filtre.</li> <li>- Nettoyer le réfrigérant d'air.</li> <li>- Effectuer un contrôle manuel ; attention température d'air.</li> <li>- Démontez → Nettoyer le compresseur.</li> <li>- Contrôlez → Odeur caractéristique.</li> <li>- Contrôlez.</li> <li>- Démontez → Nettoyer.</li> <li>- Remplacer → Equilibrer.</li> <li>- Remplacer → Equilibrer.</li> <li>- Remplacer les éléments → Equilibrer.</li> <li>- Démontez → Réparer</li> <li>- Contrôlez la lubrification des paliers.</li> </ul> |
| <p><b>2- Températures des gaz d'échappement trop élevée :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Air ambiant trop chaud.</li> <li>- Réfrigérant d'air encrassé.</li> <li>- Distributeurs turbo encrassés.</li> <li>- Contre pression à l'échappement.</li> <li>- Combustion défectueuse.</li> <li>- Soupape chalumée : fuite.</li> <li>- Calage moteur incorrect.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Remédier.</li> <li>- Nettoyer le réfrigérant d'air.</li> <li>- Nettoyer les diffuseurs.</li> <li>- Contrôlez → Réparer.</li> <li>- Relever les pressions maxi → Réparer.</li> <li>- Remplacer la soupape.</li> <li>- Contrôlez → Recaler.</li> </ul>   |
| <p><b>3- Pompage, Vibration :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Filtre à air encrassé.</li> <li>- Réfrigérant d'air encrassé.</li> <li>- Conduit d'alimentation encrassé.</li> <li>- Contre pression à l'échappement.</li> <li>- Dérèglement des jeux culbuteurs.</li> <li>- Dérèglement de la distribution.</li> <li>- Calage moteur incorrect.</li> <li>- Fuites soupapes d'admission.</li> <li>- Surcharge du moteur.</li> <li>- Diffuseurs turbo endommagés.</li> <li>- Caractéristique du turbo incorrecte.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nettoyer ou remplacer le filtre.</li> <li>- Nettoyer le réfrigérant d'air.</li> <li>- Contrôlez → Remédier.</li> <li>- Contrôlez → Réparer.</li> <li>- Contrôlez → Régler.</li> <li>- Réparer.</li> <li>- Contrôlez → Recaler.</li> <li>- Conduit d'admission chaud → Réparer.</li> <li>- Contrôlez.</li> <li>- Remplacer les diffuseurs.</li> <li>- Voir la notice technique du constructeur.</li> </ul>  |

Tab III. 9 Anomalies de suralimentation

### III.6.10 Instabilité de fonctionnement :

#### - Vibrations :

- ✓ Mauvaise équilibrage ;
- ✓ Déséquilibre (dépôts, détérioration rotor) ;
- ✓ Obstruction des diffuseurs ;
- ✓ Paliers usés ou détériorés ;
- ✓ Mauvais montage ;
- ✓ Corps étrangers ;
- ✓ Jeux de montage incorrects.

La réparation de ce type d'anomalies nécessite un outillage particulier (*Equilibreuse*) et des connaissances particulières. C'est pourquoi je vous conseille de faire appel à un professionnel.[2]

**CHAPITRE IV**

**Conception et réalisation  
du logiciel  
« Diagodid »**

## IV. Conception et réalisation du logiciel « Diagodid » :

### IV.1 Introduction :

Pour réaliser un logiciel interactif, divers moyens peuvent être envisagés, en utilisant :

- Soit des logiciels de base de données (Delphi, Interbase,...) ;
- Soit des langages spécialisés (Java script, Html,...) ;
- Soit des logiciels qui peuvent créer des applications et du contenu multimédia très performants que ce soit pour les CD, les DVD, les bornes *interactives* ou Internet.

Pour mon cas, dans la réalisation de **Diagodid**, j'ai utilisé l'outil de développement DirectorMx, FlashMx, distribué par la maison **Macromedia** pour les raisons suivantes :

- Personnalisation de votre espace de travail ;
- Publication Mac et Windows en une seule étape ;
- Ajout de DVD-Video ;
- Scripting ou programmation avec la syntaxe JavaScript Director ;
- L'intelligence du système, c'est-à-dire le mécanisme qui combine les données et interactions dans une seule étape.[10]

### IV.2 Architecture et caractéristiques du logiciel « Diagodid » :

Le **Diagodid** est un logiciel interactif d'aide au diagnostic de pannes et à la réparation du moteur Diesel. Ce dernier est réalisé pour être un outil efficace, fiable et rapide pour le diagnostic de pannes.

Ce logiciel n'a pas la prétention de résoudre la multitude de pannes possibles sur un moteur Diesel. Néanmoins, vous trouverez une quantité importante de pannes que vous pourrez facilement et rapidement diagnostiquer. Ce diagnostic n'entend pas la remise en état qui, elle, nécessite la plupart du temps des compétences et un outillage professionnels.

Ce logiciel est réalisé par un logiciel de développement et de base de données ; DirectorMx, et le scripting est fait par le langage Java script, le DirectorMx est destiné essentiellement à créer des interfaces, applications, et des sites Internet.

Contrairement aux autres logiciels de base de données, le DirectorMx est simple à utiliser, et offre une combinaison de caractéristiques très puissantes le désignant comme choix en matière de logiciel interactif sur micro-ordinateurs.



### IV.2.1 C'est quoi DirectorMx ?

Macromedia DirectorMx est l'outil de production multimédia par excellence. Director est l'outil préféré des développeurs pour la création de présentations commerciales dynamiques, de bornes interactives, ainsi que de produits pédagogiques et de divertissement interactifs.

Une présentation des multiples fonctions sensationnelles que Director met à la disposition des développeurs. Les utilisateurs pourront visionner vos animations Director sur Internet, à l'aide d'un navigateur Web ou indépendamment d'un navigateur, ou sous forme de projection autonome adaptée aux réseaux locaux et à la distribution sur Cd-rom et DVD-ROM.

Les fonctions de DirectorMX sont:

- Création d'une animation, d'acteurs et d'images objets ;
- Utilisation d'encres ;
- Création d'une animation à l'aide des techniques d'interpolation, d'animation image par image et de définition de l'opacité ;
- Importation de médias ;
- Synchronisation du son ;
- Association de comportements ;
- Contrôle de la lecture en flux continu sur le Web ;
- Publication de l'animation en vue de la lecture sur le Web ;
- Programmation avec Java script.

Avec Director, outil de programmation multimédia pour les professionnels, vous pouvez développer du contenu hautement performant et le déployer n'importe où : sur des CD, DVD, réseaux Intranet, bornes interactives ou Internet. Que vous créiez du contenu CD/DVD-ROM amélioré, du contenu pédagogique ou des applications de divertissement, Director est capable de traiter une gamme de médias très large, ce qui vous permet de laisser libre cours à votre créativité et de créer des expériences interactives riches avec des résultats mesurables.

Director vous fournit tous les outils dont vous avez besoin pour optimiser votre productivité, notamment un choix de langages de programmation et la publication multi plates-formes.[11]

### IV.2.2 Structure de DirectorMx :

L'interface utilisateur de Director est organisée sur la base d'une métaphore cinématographique. Chaque projet créé est comparable à un film avec une troupe d'acteurs, un scénario, une scène sur laquelle l'action se déroule et un metteur en scène (vous-même, l'auteur). Chaque média apparaissant dans votre animation (audio, vidéo, images, texte, boutons, etc.) correspond à un acteur de la distribution de cette animation. La fenêtre Distribution de Director vous permet de consulter la liste des médias qui apparaissent dans votre animation. Comme dans un véritable film, chaque animation Director comporte un scénario.

Le scénario d'une animation Director n'est cependant pas une simple partition de musique. La fenêtre Scénario de Director contient des informations définissant le moment et l'endroit auxquels chaque acteur apparaît sur la scène. Le scénario décrit l'action qui se produit dans l'animation. Dans une animation Director, l'action a lieu dans une fenêtre nommée « Scène ». Pour créer une animation Director, vous ajoutez à la fenêtre Distribution

des acteurs (médiats), créés dans Director ou importés d'une source externe. Ces acteurs doivent ensuite être placés sous forme d'images-objets sur la scène. Une image-objet est constituée d'une simple copie d'un acteur apparaissant sur la scène. Vous devez ensuite ajuster les actions des images-objets en les modifiant sur la scène ou dans le scénario.

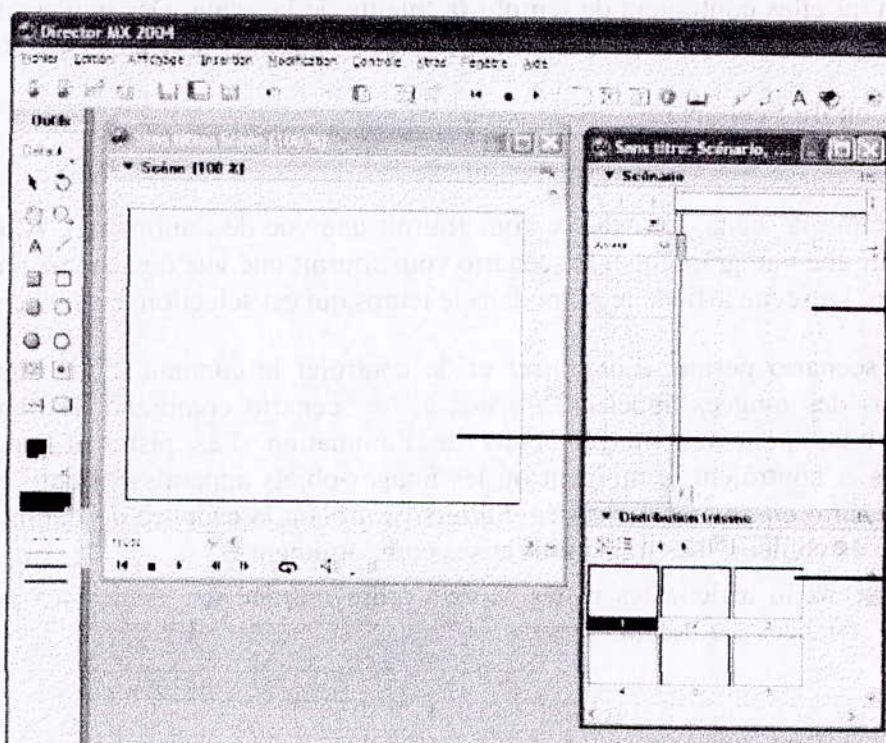


Figure.IV. 1 La fenêtre Distribution, la scène et le scénario de Director

Il existe deux types de fenêtres dans Director : les fenêtres de type Document et les fenêtres de type Outil. En règle générale, vous utilisez les fenêtres de type Document pour créer et manipuler le contenu et les fenêtres de type Outil pour afficher ou modifier les propriétés de ce contenu. Par exemple, la fenêtre Dessin est une fenêtre de type Document. Elle vous permet de créer et modifier des images. Par contre, l'inspecteur des propriétés est une fenêtre de type Outil. Il vous permet de modifier les propriétés d'une image que vous avez créée dans la fenêtre Dessin en plus des propriétés des autres contenus.

Les deux types de fenêtres, Document et Outil, sont disponibles dans le menu Fenêtre. Voici quelques exemples de fenêtres de type Document :

- Scène ;
- Scénario ;
- Distribution ;
- Divers éditeurs de médias (par exemple, Texte, QuickTime et DVD).[12]

#### a- Utilisation de la scène :

La scène est la partie de l'animation que les utilisateurs voient. Vous utilisez la scène pour déterminer où les médias, ou bien les acteurs, doivent apparaître à l'écran. Une fois que vous avez déterminé où vous voulez que l'acteur apparaisse, vous placez une copie de l'acteur, appelée image-objet, sur la scène.

La phase de programmation auteur vous permet de définir les propriétés de la scène, telles que sa taille ou sa couleur. Par exemple, pendant que vous travaillez sur une animation, vous pouvez agrandir ou réduire la scène si vous ne souhaitez pas conserver sa taille d'origine. Vous pouvez aussi modifier l'échelle des coordonnées des images-objets apparaissant sur la scène, afin qu'elles continuent de remplir la totalité de la scène. Des guides, des grilles et les fenêtres Aligner et Translation vous permettent de positionner les images-objets sur la scène.

#### b- Utilisation du Scénario :

Comme la scène, le scénario vous fournit une vue de l'animation. Alors que la scène vous fournit une vue graphique, le scénario vous fournit une vue du schéma chronologique de l'animation. La scène affiche le point dans le temps qui est sélectionné dans le scénario.

Le scénario permet d'organiser et de contrôler le contenu d'une animation dans le temps, dans des rangées appelées « pistes ». Le scénario comprend de nombreuses pistes d'images-objets pour les images-objets de l'animation. Les pistes d'images-objets sont numérotées et contrôlent le moment où les images-objets apparaissent dans l'animation. De plus, le scénario comprend des pistes d'effets contrôlant la cadence de l'animation, ses sons, ses palettes de couleurs, ses transitions et ses comportements.

Le scénario affiche les pistes selon l'ordre indiqué ici. Seules les pistes d'images-objets sont affichées par défaut.

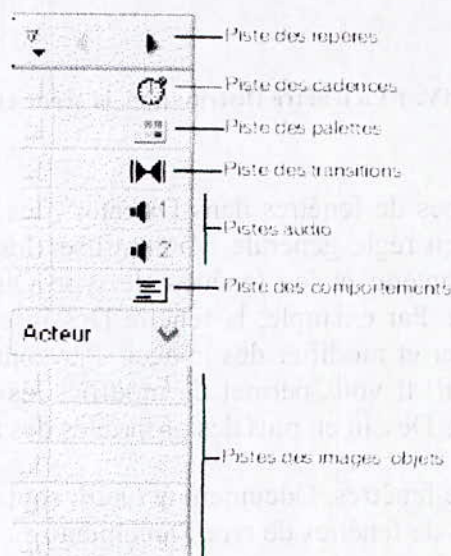


Figure.IV. 2 Pistes d'effets et d'images-objets dans le scénario

#### c- Utilisation de la fenêtre « Distribution » :

La fenêtre Distribution contient les acteurs de votre animation. Vous pouvez utiliser la fenêtre Distribution pour créer ou importer de nouveaux acteurs, pour afficher les acteurs existants et pour contrôler les propriétés de chaque acteur. Dans Director, vous utiliserez deux types d'acteurs :

- Les acteurs peuvent être les médias de votre animation, tels que les sons, le texte, les graphiques, les animations et la vidéo. Ces acteurs sont placés sous forme d'images-objets sur la scène.

- Il est possible que certains acteurs apparaissent dans le scénario mais pas sur la scène. Ces acteurs comprennent les scripts, palettes, polices et transitions que vous pouvez utiliser dans les pistes d'effets du scénario.

Dans la fenêtre Distribution, vous pouvez créer ou importer de nouveaux acteurs qui apparaîtront sur la scène sous forme d'images-objets. La création d'une animation dans Director consiste essentiellement à définir l'endroit où les images-objets apparaissent sur la scène, le moment de leur apparition dans l'animation, leur comportement et leurs propriétés. Différentes images-objets peuvent être créées à partir d'un seul et même acteur. Chaque image-objet peut posséder ses propres valeurs pour différentes propriétés et la plupart des modifications apportées à ces propriétés n'affectent pas l'acteur. En revanche, la plupart des modifications apportées à un acteur ont une incidence sur les images-objets créées à partir de cet acteur.

#### d- Inspecteur de propriétés :

Comme pour d'autres fenêtres de Director, vous pouvez contrôler l'apparence de l'inspecteur des propriétés. Vous avez le choix entre un affichage sous forme de liste et un affichage graphique. Pour gagner de l'espace, vous pouvez n'afficher que les options que vous utilisez le plus fréquemment ; où bien sûr, vous pouvez afficher toutes les options.

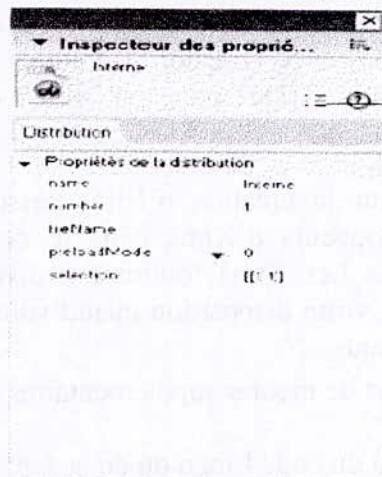


Figure.IV. 3 Inspecteur de propriétés

#### e- Le scripting :

Dans Director, la fenêtre Script vous permet d'ajouter aux animations une interactivité avancée, basée sur les scripts. Dans la fenêtre Script, vous pouvez programmer à l'aide de la syntaxe JavaScript et Lingo est le langage de programmation traditionnel de Director.

La syntaxe JavaScript, elle, a été introduite récemment pour permettre aux développeurs multimédia qui préfèrent utiliser JavaScript d'utiliser cette syntaxe au sein de Director.

En créant des scripts dans la fenêtre Script, vous pouvez réaliser la plupart des tâches qui peuvent être accomplies dans l'interface graphique de Director, telles que le déplacement des images-objets sur la scène ou la lecture de sons. Cependant, le plus grand avantage de la création de scripts est surtout la souplesse que vous apportez à une animation. Au lieu de lire

une série d'images exactement comme l'exige le scénario, une animation peut avoir des scripts qui contrôlent la lecture des images en fonction de conditions et d'événements précis.

```
description - [
  description[event] - [
    y: 0
    x: 0
    z: 0
  ]
]
description[event] - [
  y: 0
  x: 0
  z: 0
]
end
```

Figure.IV. 4 Fenêtre de scripting ou programmation

#### f- Les Xtras :

Les Xtras sont des composants logiciels permettant d'accroître les fonctionnalités de Director. Certains Xtras sont installés avec Director et d'autres sont disponibles séparément pour téléchargement et l'installation. De plus, si vous connaissez le langage de programmation peut créer des Xtras.

Pour plus d'informations sur la création d'Xtras personnalisés, page d'assistance Macromedia consacrée aux développeurs d'Xtras dans le centre de support Director à [www.macromedia.com/support/xtras/](http://www.macromedia.com/support/xtras/). Les Xtras fournissent divers types de fonctionnalités supplémentaires. Une fois installés, votre disposition quand vous ouvrez Director. Les Xtras peuvent apporter à Director les suivants :

- **Média** : Introduisez des types de médias supplémentaires en tant qu'acteurs dans votre animation ;
- **Programmation** : Accédez à du code Lingo ou de la syntaxe JavaScript
- **Supplémentaire** : si vous programmez dans Director ;
- **Transitions** : Choisissez des transitions supplémentaires à placer entre les séquences de animations ;
- **Outils** : Utilisez des outils supplémentaires pour faciliter le processus de programmation.[12]

### IV.2.3 Comment « Diagodid » a été réalisé ?

- Installation du DirectorMx ;
- Installation du FlashMx ;
- Configuration du DirectorMx pour faciliter la tâche et pour obtenir un résultat optimum ;
- Faire un organigramme du travail ;
- Importation d'acteurs dans DirectorMx : Séquence, Photo,... ;
- Placement d'acteurs sur la scène et dans le scénario pour créer des images-objets, qui sont les copies des acteurs ;
- Création des animations sur FlashMx et les importer sur DirectorMx ;
- Création des animations d'images-objets ;
- Créations des boutons ;
- Programmation et création des scripts par « Javascript » pour créer une interactivité au niveau de l'utilisateur ;
- Contrôle du continu vidéo et audio ;
- Le « Diagodid » contient plus de 2500 acteurs utilisés ;
- Publication ou l'exécution du logiciel « Diagodid ».

Voila quelques programmes effectués au cours de mon travail :

#### - Programmation d'un bouton animé :

```
-- DESCRIPTION --  
  
on getBehaviorDescription me  
  return  
    "Description d'un bouton animé" & RETURN & RETURN &  
    "Description d'un bouton animé" & RETURN & RETURN &  
    "Description d'un bouton animé" & RETURN &  
    "Description d'un bouton animé"  
end getBehaviorDescription  
  
on getBehaviorTooltip me  
  return  
    "Description d'un bouton animé" &  
RETURN & RETURN &  
    "Description d'un bouton animé"  
end getBehaviorTooltip  
  
property spriteNum  
property mySprite  
property myStandardMember  
property myRollovermember  
  
on mouseEnter me  
  mySprite.member = myRolloverMember  
end mouseEnter
```

- Script d'un texte défilant et animé :

```
on getBehaviorTooltip me
  return \
    " " &
RETURN & RETURN & \
  " " & RETURN & RETURN &
  " " & RETURN & RETURN &
end getBehaviorTooltip

-- PROPERTIES --

property spriteNum
-- author-defined parameters
property myCursorType
property myBuiltInCursor
property myCursorMember
property myCustomCursor
property myCustomMask
-- internal properties
property mySprite
property mySavedCursor

-- EVENT HANDLERS --

on beginSprite me
  SetSpriteCursor me
end beginSprite

on endSprite me
  mySprite.cursor = mySavedCursor
end endSprite
```

#### IV.2.4 Stratégie du logiciel interactif « Diagodid » :

L'interactivité est modélisée sous la forme d'un ensemble des questions posées à l'utilisateur pour le guider jusqu'à ce qu'il trouvera le remède à son problème. Il existe deux stratégies :

a- Stratégie 'a' :

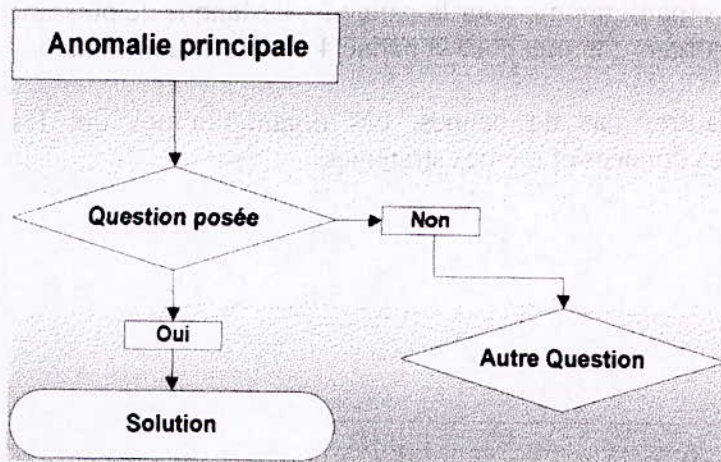


Figure.IV. 5 Stratégie 'a'

- Stratégie 'b' :

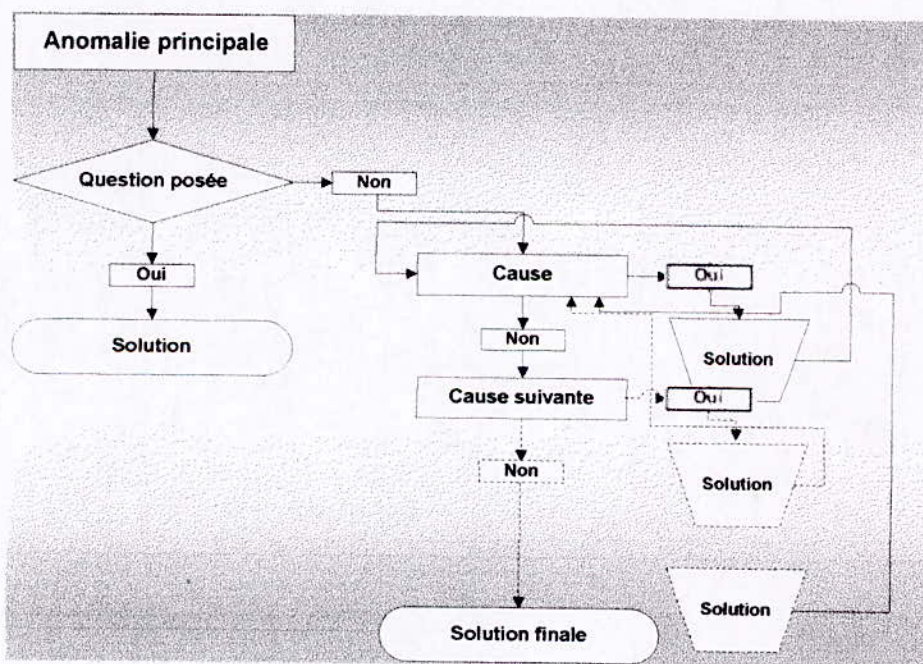


Figure.IV. 6 Stratégie 'b'



Les organigrammes suivants sont les procédures de marche du logiciel interactif « **Diagodid** », les exemples d'organigramme suivants sont réalisés par un Outil de la famille « *Office Xp* » qui s'appelle : « *Microsoft Visio* ».

Les organigrammes réalisés sont pour les cas suivants :

- 1- Un organigramme pour la panne 1 : « Pannes de démarrage » ;
- 2- Un organigramme pour la panne 2 : « Le moteur s'arrête de lui-même » ;
- 3- Un organigramme pour la panne 3 : « Manque de puissance » ;
- 4- Un organigramme pour la panne 4 : « Bruits anormaux ».

Pour les autres cas de pannes, ces organigrammes ont les mêmes procédures d'enchaînement des données et mêmes stratégies.

## **Conclusion**

## V. Conclusion :

Au terme de ce projet de fin d'étude, nous pouvons dire qu'une ambition est devenue réalité, grâce à la réalisation de « **Diagodid** » qui a permis de faciliter la tâche du diagnostic de pannes du moteur Diesel, et de connaître par la pratique la technique des logiciels interactifs.

Dans la première partie, la problématique de diagnostic est définie, les objectifs du logiciel « **Diagodid** » sont précisés.

La confrontation de la synthèse des techniques de diagnostic, avec nos besoins, m'a permis de choisir un modèle de diagnostic pour mon logiciel « **Diagodid** ». Le modèle proposé et réalisé est hybride ; l'approche basée sur le raisonnement causal, et l'approche basée sur la représentation interactive.

Au long de ce projet la constitution de la base de connaissance représente la partie la plus délicate et la plus longue à concevoir dans l'élaboration d'un outil d'aide au diagnostic, pour cela il faut avant tous, faire des organigrammes pour assurer un raisonnement logique, ensuite un logiciel interactif fiable.

Le « **Diagodid** » réalisé permet de tenir compte de ses investigations de la diversité des modes de manifestations de pannes, et de la complexité des dispositifs d'un moteur Diesel, tout en tenant capable d'en recevoir plusieurs autres types pour assurer leur maintenance. Il faut faire remarquer que ce logiciel est réalisé dans une forme conviviale facilitant l'échange d'information avec l'utilisateur.

Le « **Diagodid** » n'a pas la prétention de résoudre la multitude de pannes possibles sur un moteur Diesel. Néanmoins, vous trouverez une quantité importante de pannes que vous pourrez facilement et rapidement diagnostiquer.

Ce diagnostic n'entend pas la remise en état qui, elle, nécessite la plupart des temps des compétences et un outillage professionnels.

Je pense avoir atteint mes objectifs et j'espère que ce modeste travail va apporter l'aide nécessaire aux futurs concepteurs des logiciels interactifs d'aide au diagnostic et à ceux qui voudraient compléter leur formation dans la maintenance des moteurs Diesel.

Les moteurs Diesel modernes sont équipés de plusieurs systèmes électroniques, pour cela je recommande que mon logiciel « **Diagodid** » soit complété au futur et qu'il soit développé par les étudiants des prochaines promotions.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] Site Internet : [www.rechangeauto.com](http://www.rechangeauto.com).
- [2] Jan F. Kreider  
"Mechanical System Control". CRC press I.I.C 1999
- [3] M. DEBOIS, R. ARMAO.  
"Technique de la réparation automobile ", Edition FOUCHER, Paris 1992.
- [4] Jean-Louis FROMENT  
Document PDF: "Le moteur Diesel " , volume B3, 1992
- [5] B. VIEUX  
" Révision du matériel d'injection", Edition FOUCHER , Paris 1993.
- [6] HAUPAIS. A  
" Le graissage et la lubrification des moteurs", Volume B2, 1995.
- [7] POUILLE. J  
" Moteurs diesel d'automobiles", volume B3, 1997.
- [8] Jean. C  
" Revue technique d'automobile", Paris 1998.
- [9] M. BOUFENAR, F. GHEMIT  
" Système expert d'aide au diagnostic des pannes des moteurs à combustion interne". Mémoire de fin d'études, ENP 1994-1995
- [10] CREITHUR. H  
" What is the new of Director", England 2002.
- [11] CHERERS. P  
" Comment réaliser un site avec Director", Edition Dunod, 2001.
- [12] FERRERAN. T  
" DirectorMx", Première Edition : Janvier 2004.
- [13] CRISTON. H  
" Programming with Javascript", 1998