

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE : TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT : GENIE MECANIQUE

N° :



DOMAINE : SCIENCE ET TECHNOLOGIE

FILIERE : GENIE MECANIQUE

OPTION : ENERGETIQUE

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Par : Benjedda Ibrahim

Ould Ahmedou Bemba Med El Hassen

Intitulé

Etude des moteurs diesels

Soutenu devant le jury composé de :

Dr. BOUAOUINA Lalouani	Université Med Boudiaf – M'Sila	Président
Dr. IHADDADENE Nabila	Université Med Boudiaf – M'Sila	Rapporteur
Mr. HEBICHE Nouredine Anwar	Université Med Boudiaf – M'Sila	Examineur

Année universitaire : 2016 /2017

Résumé :

Notre objectif est d'étudier et réparer les moteurs Diesel au niveau du laboratoire des moteurs de l'université de Mohamed Boudiaf de M'Sila, de concevoir un logiciel (DPMD1.0) de diagnostic des pannes les plus fréquentes des moteurs Diesel et enfin de simuler les écoulements et les effets thermiques dans le pot d'échappement qu'on a réalisé pour le moteur Td111 par le logiciel SolidWorks.

Un film documentaire descriptif du fonctionnement des moteurs diesels a été réalisé.

Mots clés : Moteur Diesel, Maintenance, Logiciel(DPMD1.0), Simulation, SolidWorks et film documentaire.

Abstract :

Our objective is to study and repair diesel engines at the engine laboratory of the Mohamed Boudiaf University in M'Sila, to design a software (DPMD1.0) to diagnose the most frequent breakdowns of diesel engines and finally To simulate the flows and thermal effects in the muffler that was made by us for the Td111 engine by SolidWorks software.

A documentary film describing the functioning of the diesel engines was produced.

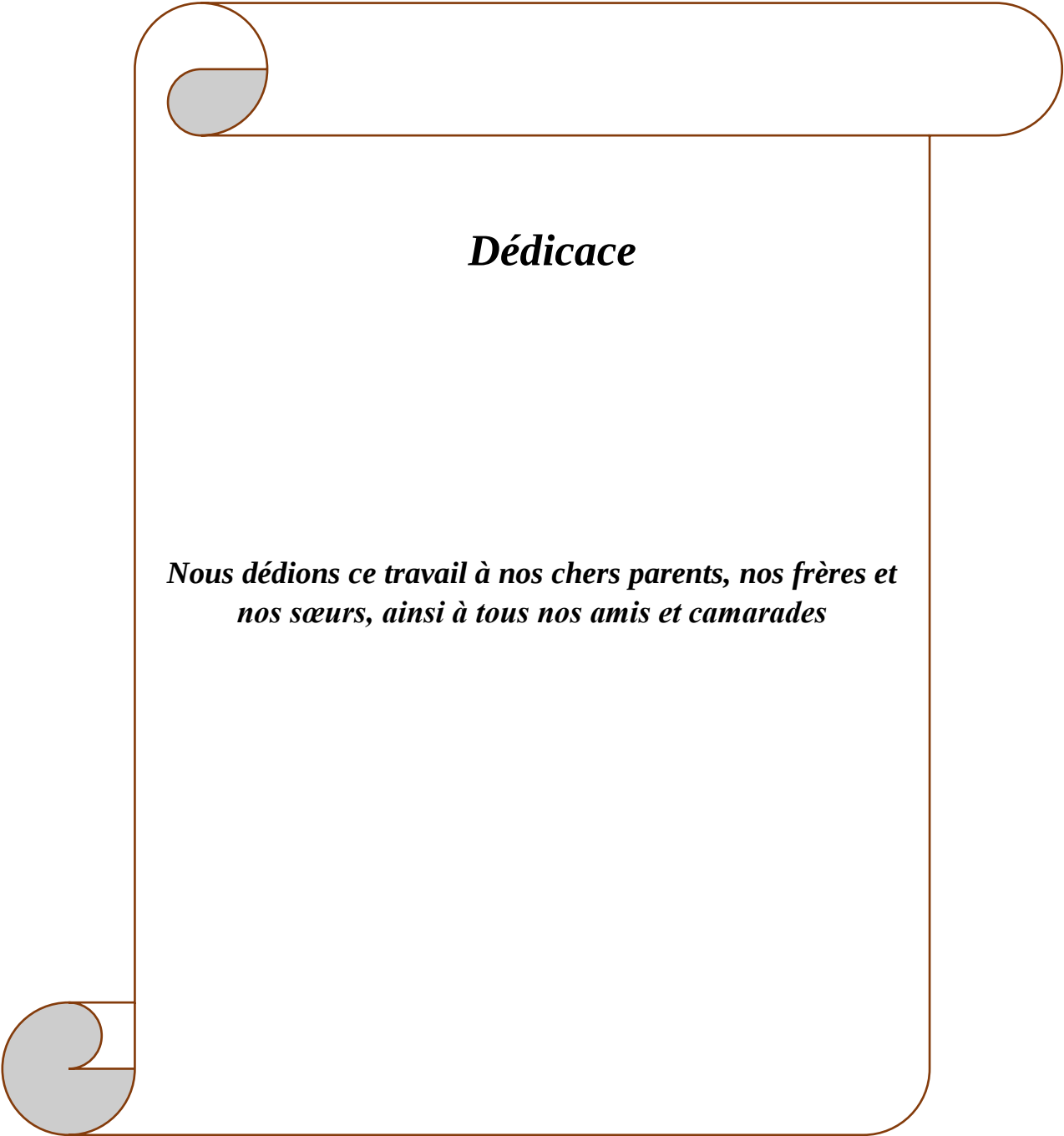
Keywords : Diesel engine, Maintenance, Software (DPMD1.0), Simulation, SolidWorks and documentary film.

ملخص:

هدفنا هو دراسة وإصلاح محركات الديزل الموجودة على مستوى مخبر المحركات بجامعة محمد بوضياف بالمسيلة، وتصميم برامج (DPMD1.0) لتشخيص الأعطال الأكثر شيوعاً في محركات الديزل وأخيراً قمنا بمحاكاة التدفقات والتأثيرات الحرارية في عادم الصوت الذي قمنا بتصنيعه من أجل المحرك TD111 على برنامج SolidWorks.

مع اخراج فيلم وثائقي وصفي لعمل محركات الديزل.

كلمات مفتاحية: محرك الديزل، صيانة، برنامج (DPMD1.0)، المحاكاة، فيلم وثائقي و SolidWorks.

A decorative border resembling a scroll, with a brown outline and grey shaded areas at the top-left and bottom-left corners.

Dédicace

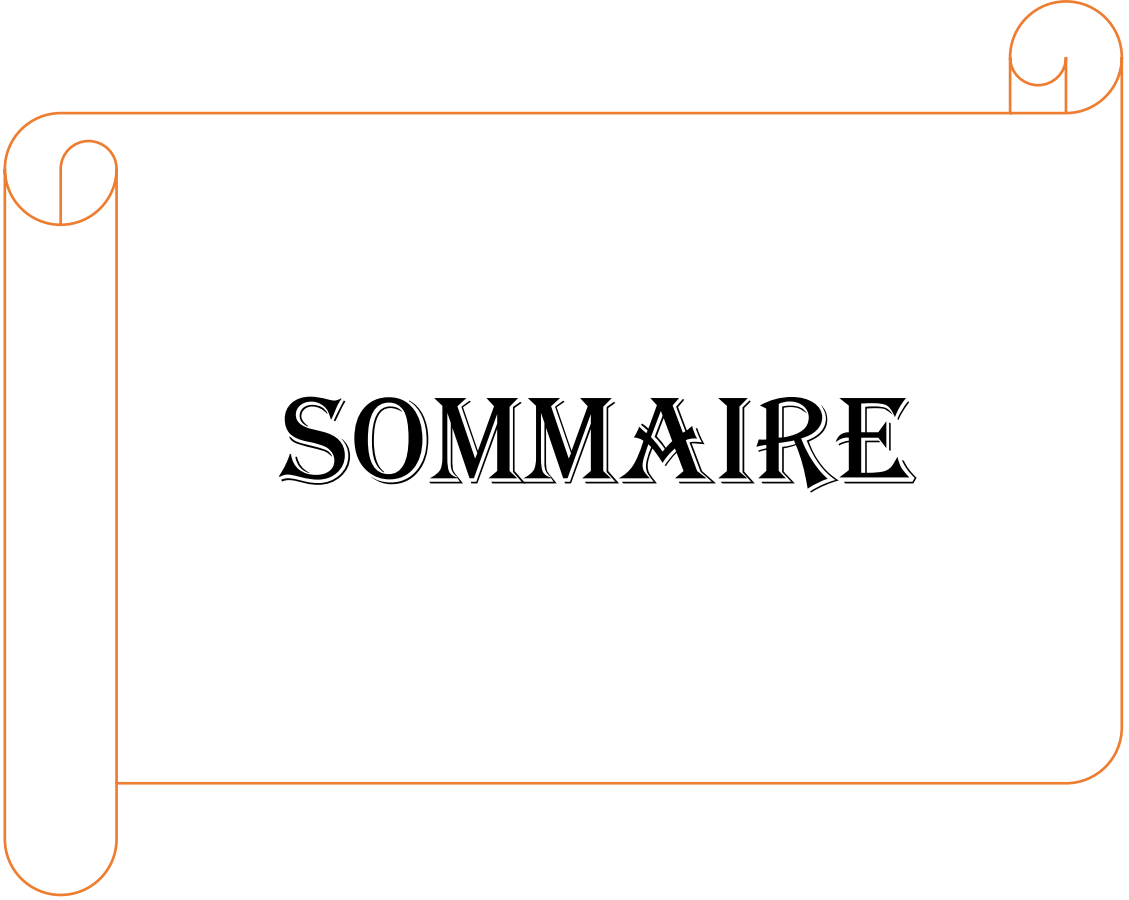
***Nous dédions ce travail à nos chers parents, nos frères et
nos sœurs, ainsi à tous nos amis et camarades***

Remerciements

Nous remercions toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail ;

Particulièrement notre promotrice Dr.Ihaddadène Nabila pour son aide et conseil précieux, au équipe des laboratoires de génie mécanique et au équipe de la société de la maintenance des équipements industriels de M'sila (MEI).

A la fin nous tenus à exprimer notre gratitude vers nos enseignants du département de génie mécanique.

A decorative orange scroll border frames the central text. It features a vertical scroll on the left and a horizontal scroll on the top right, with the lines curving and overlapping to create a scroll-like effect.

SOMMAIRE

Sommaire

Remerciements.....	
Liste des figures.....	
Liste des tableaux.....	
Abréviations et notations.....	
Chapitre I : Généralités sur le moteur diesel.....	
Introduction générale.....	
I.1. Introduction	1
I.2. Définition	1
I.3. Historique	1
I.4. Principe de fonctionnement du moteur diesel	3
I.4.1. Cycle à quatre temps	3
I.4.2. Cycle à deux temps	4
I.5. Classification des Moteurs diesel	5
I.5.1. Disposition des cylindres.....	5
I.5.1.1. Cylindre en ligne	5
I.5.1.2. Cylindre en V	5
I.5.1.3. Cylindre en W	7
I.5.1.4. Cylindre en U	8
I.5.1.5. Cylindre en H	8
I.5.1.6. Cylindre en étoile	8
I.5.1.7. Cylindres opposés horizontalement ou à plat.....	8
I.5.1.8. Moteur à piston opposée	9
I.5.2. Temps moteur	10
I.5.2.1. Moteur à quatre temps	10
I.5.2.2. Moteur à deux temps	10
I.5.3. Emplacement de l'arbre à cames	10
I.5.3.1. Arbre à cames en tête.....	10
I.5.3.2. Arbre à cames latérale	10
I.5.4. Système de refroidissement	11
I.5.4.1. Refroidissement par air.....	11

I.5.4.2. Refroidissement par eau	11
I.5.5. Processus d'admission d'air	11
I.5.5.1. Moteur à aspiration naturelle	11
I.5.5.2. Moteur suralimenté.....	11
I.5.6. Système d'injection	11
I.5.6.1. Injection direct	12
I.5.6.2. Injection indirect	12
I.6. Description du moteur diesel.....	12
I.6.1. Organes fixes	12
I.6.1.1. Bloc cylindre	12
I.6.1.2. Culasse.....	13
I.6.1.3. Joint culasse	13
I.6.1.4. Carters.....	14
I.6.2. Organes mobiles.....	15
I.6.2.1. Piston	15
I.6.2.2. Bielle	17
I.6.2.3. Vilebrequin (arbre moteur)	19
I.7. Caractéristiques du moteur	19
I.8. Système de distribution	21
I.8.1. Réalisation de l'épure de distribution	21
I.8.2. Eléments de la distribution	23
I.8.2.1. Arbre à cames.....	24
I.8.2.2. Les soupapes	25
I.8.2.3. Eléments intermédiaires.....	26
I.8.3. Emplacement de l'arbre à cames	28
I.8.4. Calage de la distribution.....	29
I.8.5. Jeu des soupapes	30
I.9. Système de lubrification et de refroidissement.....	30
I.9.1. Système lubrification.....	30
I.9.1.1. Circuit de lubrification.....	31
I.9.1.2. Types de systèmes de lubrification.....	34
I.9.2. Système de refroidissement	35

I.9.2.1. Refroidissement par eau	35
I.9.2.2. Refroidissement par air.....	36
I.9.2.3. Avantages et inconvénients des différents systèmes de refroidissement	37
I.10. Système d'alimentation et d'injection.....	39
I.10.1. Organisation du circuit d'alimentation.....	39
I.10.2. Systèmes d'injection	41
I.10.2.1. Moteurs à injection indirecte.....	41
I.10.2.2. Moteurs à injection directe.....	42
I.10.2.3. Type de système d'injection.....	43
I.11. Etude thermodynamique du moteur Diesel	47
I.11.1. Cycle théorique du moteur diesel.....	47
I.11.2. Cycle réel diesel	49
Conclusion.....	51
Chapitre II : Maintenance des moteurs diesels.....	
II.1. Introduction	52
II.2. Généralités sur la maintenance.....	52
II.2.1. Définition	52
II.2.2. Méthodes de maintenance	52
II.2.2.1. Maintenance corrective	52
II.2.2.2 Maintenance préventive	52
II.2.3. Niveaux de maintenance	53
II.3. Vue sur le laboratoire des moteurs de l'université Med Boudiaf de M'Sila	55
II.4. Maintenance corrective du moteur TD 111 et du banc d'essai TD115 et l'unité de mesure TD114	57
II.4.1. Description du moteur TD111.....	57
II.4.2. Diagnostique moteur.....	58
II.4.3. Démontage du moteur.....	58
II.4.4. Nettoyage des pièces.....	62
II.4.5. Contrôle et expertise	64
II.4.5.1. Instruments de mesure.....	64
II.4.5.2. Expertise du bloc moteur, du vilebrequin et chemise.....	65
II.4.5.3. Expertise de l'attelage mobile (piston et bielle).....	66
II.4.5.4. Contrôle, expertise et réparation de la culasse.....	67

II.4.5.5. Contrôle et réparation des organes du circuit d'alimentation	69
II.4.7. Essais de démarrage	72
II.4.8. Banc d'essai TD115 et l'unité de mesure TD114	74
II.4.8.1. Diagnostic du banc d'essai et de l'unité de mesure.....	75
II.4.8.2. Réparation du Banc d'essai TD115 et l'unité de mesure TD114.....	75
II.5. Maintenance corrective du moteur Volkswagen D1600	76
II.5.1. Description du moteur Volkswagen D1600	76
II.5.2. Diagnostic du moteur Volkswagen Golf II D1600	76
II.5.3. Démontage de moteur Volkswagen Golf II D1600	77
II.5.4. Nettoyage du moteur Volkswagen Golf II D1600	79
II.5.5. Contrôle et expertise du moteur Volkswagen D1600	82
II.5.5.1. Réparation des organes de circuit de refroidissement	86
II.5.6. Remontage moteur vwD1600	88
II.5.7. Banc d'essai.....	91
II.5.8. Essais de démarrage	93
II.6. Montage des vidéos de réparation des moteurs TD111 et Volkswagen	94
Conclusion.....	96
Chapitre III : Logiciel de diagnostic des pannes des moteurs diesels.....	
III.1. Introduction.....	97
III.3. Pannes des moteurs Diesels	98
III.4. Borland Delphi 7	100
III.5. Logiciel de diagnostic des pannes des moteurs diesels (DPMD 1.0)	102
III.6. Structure du logiciel DPMD 1.0.....	105
Conclusion.....	114
Chapitre IV : Réalisation et simulation d'écoulement dans un pot d'échappement.....	
IV.1. Introduction	115
IV.2. Logiciel de conception et simulation (SolidWorks 2015)	115
IV.3. Géométrie du modèle	116
IV.4. La réalisation du pot d'échappement	117
IV.5.1. Maillage.....	119
IV.5.2. Conditions au limites.....	119
IV.5.3. Paramètres du paroi et fluide (pot échappement)	119

IV.6. Résultats et discussion.....	120
IV.6.1. Variation de pression dans le pot d'échappement	120
IV.6.2. Variation de vitesse dans le pot d'échappement	120
IV.6.3. Variation de température du fluide dans le pot d'échappement	122
IV.6.4. Variation de température du solide dans le pot d'échappement	122
Conclusion.....	123
Conclusion générale.....	
Références.....	

Liste des figures

Chapitre I :

Figure I.1 : L'éolipyle de Héron d'Alexandrie.	2
Figure I.2 : Cycle à quatre temps pour un moteur à allumage par compression (diesel).	4
Figure I.3 : Cycles deux temps pour un moteur à allumage par compression (diesel).	5
Figure I.4 : Organigramme présentant la classification des Moteurs diesel.	6
Figure I.5 : Moteur à quatre cylindre en ligne.	7
Figure I.6 : Moteur huit cylindre en V.	7
Figure I.7 : Moteur a cylindre en W.	8
Figure I.8 : Moteur en U 16 cylindres.	8
Figure I.9 : Moteur en H.	9
Figure I.10 : Moteur à Cylindre en étoile.	9
Figure I.11 : Moteur à cylindre opposée.	9
Figure I.12 : Moteur à piston opposé.	9
Figure I.13 : Emplacement de l'arbre à came dans les moteurs diesel.	10
Figure I.14 : Turbocompresseur et son principe de fonctionnement.	11
Figure I.15 : Différentes types d'injection dans un moteur diesel.	12
Figure I.16 : Bloc moteur.	13
Figure I.17 : Culasse moteur diesel VW D1600(laboratoire moteur, université de M'Sila).	13
Figure I.18 : Joint de culasse moteur VW D1600(laboratoire moteur, université de M'Sila).	14
Figure I.19 : Carter inférieur (carter Huile).	14
Figure I.20 : Joint carter huile VW.	14
Figure I.21 : Carter de distribution.	15
Figure I.22 : Couvre-culasse.	15
Figure I.23 : Attelage mobile.	15
Figure I.24 : Formes de têtes de pistons.	15
Figure I.25 : Piston, segment et axe Piston du moteur VW D1600 (Laboratoire moteur, université de M'Sila).	17
Figure I.26 : Bielle Moteur MTU.	17
Figure I.27 : Bielle, coussinets et bague du moteur VW D1600(laboratoire moteur, université de M'Sila).	18
Figure I.28 : Bille à œil (moteur GE).	18
Figure I.29 : Bielle à fourche.	18
Figure I.30 : Bielle côte à côte.	19
Figure I.31 : Vilebrequin VW D1600. (Laboratoire moteur, université de M'Sila).	19
Figure I.32 : Schéma représentant quelques les caractéristiques géométriques du moteur.	21
Figure I.33 : Représentation angulaire des différentes phases pour un moteur Diesel à quatre temps.	23
Figure I.34 : Liaison par engrenage.	24
Figure I.35 : Liaison par chaîne.	24
Figure I.36 : Liaison par courroie crantée.	24
Figure I.37 : Arbre à came.	25
Figure I.38 : Détails d'une soupape.	26
Figure I.39 : Dimensions soupapes moteurs.	26
Figure I.40 : Eléments intermédiaires de distribution.	27
Figure I.41 : Différentes types de poussoirs.	27
Figure I.42 : Tige de culbuteur (moteur TD111) et culbuteur (moteur ABC).	28
Figure I.43 : Calage de distribution moteur VW D1600 (Laboratoire moteur, université de M'Sila).	29

Figure I.44 : Réglage des jeux des soupapes moteur TD111 (Laboratoire moteur, université de M'Sila) .	30
Figure I.45 : Circuit de lubrification du moteur à quatre temps	32
Figure I.46 : Pompe à huile à engrenage (Moteur CMI).	32
Figure I.47 : Pompe à huile à rotor (Moteur Perkins).	32
Figure I.48 : Pompe à huile à engrenage du moteur VW D1600 (Laboratoire moteur, université de M'Sila).	33
Figure I.49 : Types entraînement de la pompe à huile.	33
Figure I.50 : Coupe d'un filtre à huile .	33
Figure I.51 : Types de système de lubrification	35
Figure I.52 : Circuit de refroidissement d'un moteur à combustion interne	37
Figure I.53 : Vue éclatée de la pompe à eau VW D1600.	38
Figure I.54 : Moteur refroidi par air	38
Figure I.55 : Filtre à gasoil moteur VW D1600 (Laboratoire moteur, université de M'sila).	39
Figure I.56 : Circuit d'alimentation en combustible du moteur diesel.	40
Figure I.57 : Forme d'injecteur selon type d'injection.	40
Figure I.58 : Technique d'injection indirect	41
Figure I.59 : Différentes positions de la préchambre de combustion.	42
Figure I.60 : Pompe à injection rotatif moteur VW D1600 (Laboratoire moteur, université de M'Sila).	43
Figure I.61 : Système d'injection classique	44
Figure I.62 : Système d'injection rampe commune	45
Figure I.63 : Injecteur pompe	47
Figure I.64 : Cycle théorique moteur diesel à quatre temps.	48
Figure I.65 : Cycle réel moteur diesel à quatre temps.	50

Chapitre II :

Figure II.1 : Organigramme de la maintenance d'un bien.	54
Figure II. 2 : Laboratoire des moteurs de l'université de Med Boudiaf de M'Sila.	55
Figure II.3 : Moteur Diesel TD111, unité de mesure TD114 et banc d'essai TD115.	56
Figure II.4 : Moteur diesel TD111.	58
Figure II.5 : Démontage des tuyauteries du moteur TD111.	59
Figure II.6 : Vidange du moteur TD111.	60
Figure II.7 : Démontage de l'injecteur.	61
Figure II.8 : Démontage de la conduite d'admission.	61
Figure II.9 : Démontage des culbuteurs.	61
Figure II.10 : Démontage de la culasse.	61
Figure II.11 : Démontage de la chemise.	61
Figure II.12 : Démontage du carter d'huile.	61
Figure II.13 : Démontage des culbuteurs.	62
Figure II.14 : Démontage de joint culasse.	62
Figure II.15 : Démontage arbre liant vilebrequin avec accouplement et carter de distribution	62
Figure II.16 : Démontage de chapeau de bielle puis attelage.	62
Figure II.17 : Quelques pièces avant et après nettoyage.	63
Figure II.18 : Contrôle et expertise de l'attelage mobile et de la chemise.	64
Figure II.19 : Pied à coulisse.	64
Figure II.20 : Micromètre.	65

Figure II.21 : Cale Johnson.	65
Figure II.22 : Vérificateur alésage avec comparateur.	66
Figure II.23 : Direction de prise de mesure du vilebrequin lors de son expertise	66
Figure II.24 : Rodage de soupape.	68
Figure II.25 : Pâte à roder et les ventouses	68
Figure II.26 : Soupape avant et après rodage.	69
Figure II.27 : Réservoir du moteur TD111.	69
Figure II.28 : Banc d'essai pompe d'injection.	70
Figure II.29 : Refoulement du gasoil par la pompe à injection.	70
Figure II.30 : Pompe de tarage	71
Figure II.31 : Démontage de l'injecteur.	71
Figure II.32 : Répartition de l'injecteur (injecteur pulvérise du gasoil).	71
Figure II.33 : Moteur TD111.	73
Figure II.34 : Unité de mesure.	74
Figure II.35 : Banc d'essai TD115.	75
Figure II.36 : moteur Volkswagen D1600 avant réparation	76
Figure II.37 : organes extérieur moteur Volkswagen.	78
Figure II.38 : Moteur Volkswagen porté par la girafe.	79
Figure II.39 : Technique de repérage adoptée des vis de fixation et des écrous.	79
Figure II.40 : Matériels de nettoyage.	80
Figure II.41 : Pièces du moteur VW avant et après nettoyage.	81
Figure II.42 : Contrôle du palier du bloc moteur sans coussinet.	83
Figure II.43 : Mesure du jeu axial du vilebrequin.	83
Figure II.44 : Mesure d'ovalisation	84
Figure II.45 : Mesure de conicité.	84
Figure II.46 : Directions des mesures pour cylindre moteur VW.	84
Figure II.47 : Expertise des gorges et logement axe piston.	86
Figure II.48 : Distribution des auxiliaires.	86
Figure II.49 : pompe à eau et circuit de refroidissement du bloc moteur avant nettoyage.	87
Figure II.50 : Pompe à eau après nettoyage et réparation.	87
Figure II.51 : Boîte d'échangeur et circuit bouché par le calcaire.	87
Figure II.52 : Nettoyage de l'échangeur par acide.	88
Figure II.53 : Echangeur eau/eau après nettoyage.	88
Figure II.54 : Remontage du vilebrequin.	90
Figure II.55 : Remontage attelage mobile.	90
Figure II.56 : Remontage carter inférieur	90
Figure II.57 : Remontage arbre pompe à huile.	90
Figure II.58 : Remontage culasse.	90
Figure II.59 : Remontage bougie préchauffage.	90
Figure II.60 : Remontage injecteur.	90
Figure II.61 : Remontage arbre à came.	90
Figure II.62 : Remontage pompe à injection.	91
Figure II.63 : Remontage courroie de distribution.	91
Figure II.64 : Remontage tuyauteries d'injection.	91
Figure II.65 : Remontage pompe à eau.	91
Figure II.66 : Remontage volant moteur.	91
Figure II.67 : Remontage pompe hydraulique.	92

Figure II.68 : banc essai moteur Volkswagen D1600 avant nettoyage.....	92
Figure II.69 : banc essai moteur Volkswagen D1600 après nettoyage.....	92
Figure II.72 : Interface de logiciel de montage Filomora vidéo editor.....	94
Figure II.70 : Moteur Volkswagen D1600 avant réparation.	95
Figure II.71 : Moteur Volkswagen D1600 après réparation.	95

Chapitre III :

Figure III.1 : Calculateur de contrôle moteur(ECM)	98
Figure III.2 : Page d'accueil de Delphi 7.	101
Figure III.3 : Accueil de la première version du logiciel : diagnostic des pannes des moteurs diesels (DPMD 1.0) développé.....	102
Figure III.4 : Sommaire des pannes.	103
Figure III.5 : Sommaire des généralités sur les moteurs Diesel.	103
Figure III.6 : Disposition des cylindres.	103
Figure III.7 : Vue du concepteur de la fiche du logiciel (DPMD 1.0).	104
Figure III.8 : Vue de l'éditeur code du logiciel (DPMD 1.0).	104
Figure III.9 : Causes probable des pannes de démarreur (DPMD 1.0).	104
Figure III.10 : Communication entre l'utilisateur et l'interface (DPMD 1.0).	105
Figure III.11 : Options de la page d'accueil.	105
Figure III.12 : Sommaire des pannes.	106
Figure III.13 : Sommaires des généralités sur moteur diesel.....	106
Figure III.14 : Organigramme des pannes dues à la surpression dans le carter.....	106
Figure III.15 : Organigramme des rates moteurs	107
Figure III.16 : Organigramme des pannes due au Bruits anormaux.	107
Figure III.17 : Organigramme d'arrêt automatique du moteur.	108
Figure III.18 : Organigramme des pannes due au manque de puissance.	108
Figure III.19 : Organigramme des pannes de démarrage.	109
Figure III.20 : Organigramme des pannes due au couleur des fumées.	110
Figure III.21 : Organigramme des pannes de surchauffe moteur.	111
Figure III.22 : Organigramme des pannes due au vibrations	111
Figure III.23 : Organigramme des pannes due au consommation excessive.....	112
Figure III.24 : Organigramme des pannes due au pression d'huile anormale.	113

Chapitre IV :

Figure IV.1 : Interface SolidWorks 2015.....	115
Figure IV.2 : Pot d'échappement.	116
Figure IV.3 : Dimensions du pot d'échappement.	117
Figure IV.4 : matières primaires.....	117
Figure IV.5 : Usinage des boitiers et chicanes.....	117
Figure IV.6 : Perçage des trous.....	118
Figure IV.7 : canaux d'entrées et sortie percés.....	118
Figure IV.8 : Assemblage par soudure.....	118
Figure IV.9 : Finissions des surfaces soudées.....	118
Figure IV.10 : Moteur TD111 avec son nouveau pot d'échappement.	118
Figure IV.11 : Maillage rectangulaire du pot d'échappement.	119

Figure IV.12 : Variation de pression d'une particule dans le pot d'échappement.....	120
Figure IV.13 : Variation de pression du fluide dans le pot d'échappement.	120
Figure IV.14 : Variations de la vitesse du fluide et zone de turbulences dans le pot d'échappement.	121
Figure IV.15 : Variations de la vitesse du fluide dans le pot d'échappement.	121
Figure IV.16 : Trajectoires et variations de la vitesse des particules du fluide dans le pot d'échappement.	121
Figure IV.17 : Variations de la température du fluide dans le pot d'échappement.	122
Figure IV.18 : Variations de la température du solide (pot d'échappement).	122
Figure IV.19 : Variations de la température du fluide dans le pot d'échappement (coupe).	122

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Moteurs diesels du laboratoire Moteur (Hall technologique).....	56
Tableau II.2 : Caractéristiques du moteur TD111.....	57
Tableau II.3 : Mesure de diamètre du maneton du vilebrequin.	66
Tableau II.4 : Mesure des diamètres de la chemise suivant trois plans et trois directions.....	66
Tableau II.5: Dimensions d'attelage mobile.	67
Tableau II.6 : Dimensions des segments et des gorges qui les portent.....	67
Tableau II.7 : Fiche technique du moteur Volkswagen D1600	76
Tableau II.8 : Expertise du palier du bloc moteur avec coussinet (ligne d'arbre).....	82
Tableau II.9 : Expertise des paliers du bloc moteur sans coussinets (ligne d'arbre).	82
Tableau II.10 : Expertise des cylindres.	84
Tableau II.11 : Expertise du vilebrequin.	85
Tableau II.12 : Expertise de bielle.	85
Tableau II.13 : Expertise de piston.....	85
Tableau III.1 : Pannes et causes des moteurs diesels.....	99

Abréviations et notations

MCI : moteurs à combustion interne.
MAN : Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg.
PMH : point mort haut.
PMB : point mort bas.
VW : Volkswagen.
ABC : Anglo Belgian Corporation.
AOA : Avance d'Ouverture des soupapes d'Admission.
RFA : Retard de Fermeture des soupapes d'Admission.
AOE : Avance d'Ouverture des soupapes d'Echappement.
RFE : Retard de la Fermeture des soupapes d'Echappement.
DI : Début d'injection.
CMI : Cockerill Maintenance & Ingénierie.
SNVI : société National des Véhicules Industriels.
HP : haut pression.
AI : Avance à l'injection.
DVD : Digital Versatile Disc.
AFNOR : Association française de normalisation.
ECM : Module de commande électronique.
VCL : Visual Components Library.
API : Application Programming Interface.
RAD : développement rapide des applications.
DPMD : diagnostic des pannes des moteurs diesel.
V : cylindrée unitaire.
R : le rayon du volant moteur.
d : diamètre.
c : course.
 ω : la vitesse angulaire.
n : cylindres.

v : volume mort.

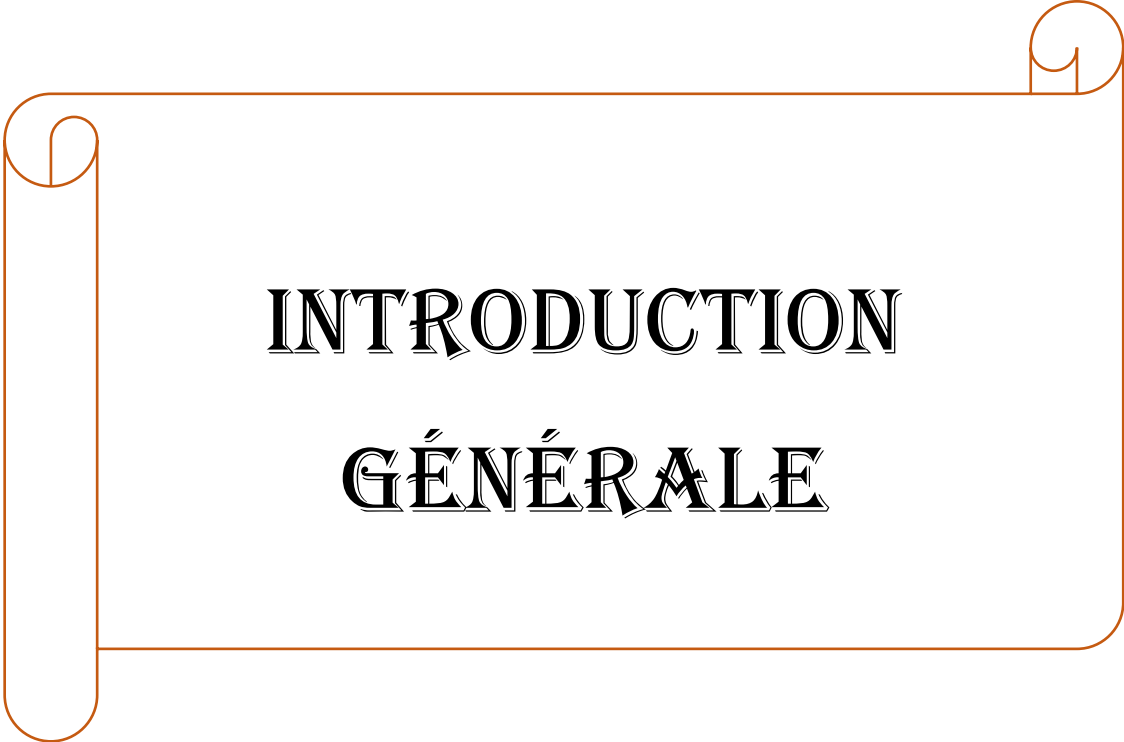
V_t : Cylindrée du moteur.

τ : Rapport volumétrique.

P : la puissance.

C : le couple.

F_t : l'effort tangentiel.



INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

De nos jours la majorité des voitures, groupes électrogènes, compresseur d'air, les bateaux, les motopompes, ...etc. utilisent des moteurs à allumage spontané ou allumage par compression (moteur Diesel). Les moteurs Diesels sont des moteurs alternatifs à combustion interne qui sont développés entre 1893 et 1897 [1], par un ingénieur Allemand qui a donné son nom à cette invention : Rudolf Diesel. A cette époque le rendement des moteurs à allumage commandé était si faible pour cela Diesel à penser pour créer un moteur plus puissant et avec rendement élevé, et qui utilise un carburant moins raffiné. L'allumage dans un moteur Diesel est assuré par l'auto-inflammation du combustible injecté sous pression dans une chambre qui contient de l'air comprimé à haute température. Donc l'évolution de ce moteur a exigé une évolution des systèmes d'injection, de système d'injection classique au système d'injection commune rail (haute pression) de nos jours. Et avec l'apparition et la propagation de ces moteurs, donc, leur maintenance devient plus en plus importante pour maintenir ces derniers en bon état. De même des pannes apparaît sur les différentes versions de ces moteurs donc le diagnostic de ces derniers devient une obligation pour la réparation de ces moteurs. La simulation des écoulements des fluides à l'intérieur du moteur joue un rôle principal dans l'amélioration des rendements de ces derniers.

Dans ce projet de fin d'étude notre objectif est d'étudier et réparer les moteurs Diesels défectueux au niveau du laboratoire des moteurs de l'université de Mohamed Boudiaf de M'Sila. Ce mémoire intitulé « étude des moteurs diesels » est articulé autour de quatre chapitres :

Le premier chapitre, traite des généralités sur les moteurs Diesels, à savoir le principe de fonctionnement, les différentes conceptions, les organes constituant ce type de moteurs, en plus des différents systèmes d'injection, de distribution, de lubrification, et de refroidissement. L'étude thermodynamique (cycles théorique et réel) de ces moteurs est traitée aussi à travers ce chapitre.

Le deuxième chapitre, traite des généralités sur la maintenance et les différentes étapes de réparation des moteurs Diesels existant au niveau du laboratoire moteur à savoir, TD111 et ses bancs d'essai TD114, TD115 et Volkswagen D1600. Mais hors d'habitude, ce chapitre est jointé d'un DVD qui contient des vidéos pour accomplir la compréhension du processus de maintenance (démontage, nettoyage, expertise, réparation, remontage et démarrage) de ces moteurs.

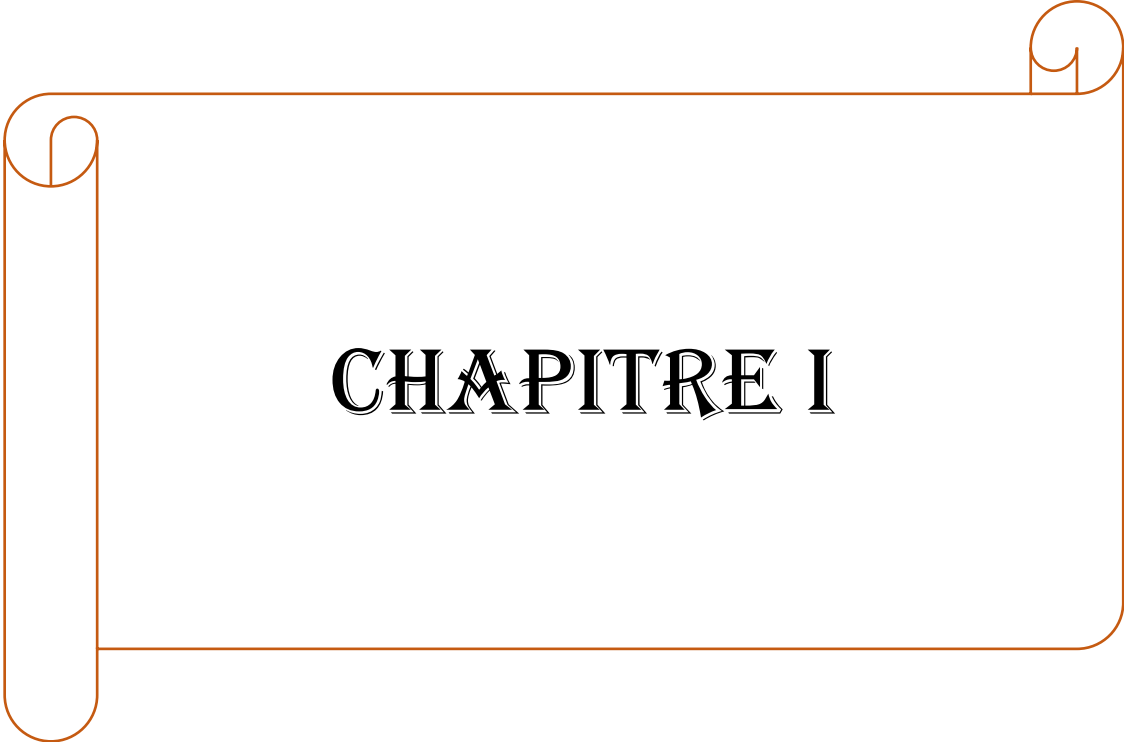
Le troisième chapitre, traite les pannes les plus fréquentes des moteurs Diesels, ainsi, un logiciel qu'on a conçu qui est composé de deux parties, la première partie consacrée au diagnostic des pannes des moteurs Diesels et la deuxième aux généralités sur les moteurs Diesels.

Le quatrième chapitre, traite une simulation des gaz d'échappement lors de leur passage par le pot d'échappement qu'on a réalisé pour le moteur TD111. On a utilisé SolidWorks pour créer le modèle, puis utilisez SolidWorks Flow Simulation pour simuler l'environnement fluide et les effets thermiques.

Ce travail a un objectif purement pédagogique. C'est la première fois qu'on réalise des films documentaires servant de support de cours destinés aux étudiants de génie mécanique.

Ce travail vient enrichir la bibliothèque de l'université de M'Sila.

Un logiciel de diagnostic des pannes (DPMD1.0) a été créé pour la première fois au niveau de département de génie mécanique.

A decorative orange scroll border frames the page content. It features a vertical scroll on the left and a horizontal scroll at the top right.

CHAPITRE I

Généralités sur le moteur diesel

I.1. Introduction

Fruit des travaux de l'ingénieur allemand Rudolf Diesel, le moteur diesel est un moteur à combustion interne dont l'allumage n'est pas commandé mais spontané, par phénomène d'auto-inflammation. Ce moteur est connu par sa puissance et son rendement élevé par rapport aux autres moteurs à combustion interne.

Ce chapitre traite des généralités sur les moteurs diesels, à savoir le principe de fonctionnement, les différentes conceptions, les organes constituant ce type de moteurs, en plus des différents systèmes d'injection, de distribution, de lubrification, et de refroidissement. L'étude thermodynamique (cycles théorique et réel) de ces moteurs est traitée aussi à travers ce chapitre qui peut être considéré comme un support de cours des moteurs diesels pour les étudiants de génie mécanique.

I.2. Définition

Le moteur à combustion est un dispositif mécanique capable de convertir l'énergie chimique d'un combustible en énergie mécanique. L'énergie chimique du combustible est d'abord convertie en chaleur par combustion, puis la chaleur est convertie en travail mécanique. En effet, la chaleur produite par la combustion augmente la pression des gaz de combustion qui se trouvent dans un volume spécifique, et grâce à leur expansion, le travail mécanique est obtenu.

Pour les moteurs à combustion interne (MCI), le terme « interne » exprime le fait que la combustion ait lieu à l'intérieur du moteur et que le mélange air-carburant et les produits de combustion sont les fluides de travail. Le travail mécanique obtenu n'est que le résultat du contact entre ces gaz et les composants mécaniques du moteur (Piston, cylindre), dans les moteurs (MCI) le système est renouvelé à chaque cycle. Le système est en contact avec une seule source de chaleur (l'atmosphère).

I.3. Historique

Depuis l'Antiquité les hommes cherchèrent à utiliser les propriétés physiques de la vapeur d'eau. Héron d'Alexandrie inventa une machine appelée éolipyle (porte d'Eole). Cette machine était une chaudière hermétique remplie en partie d'eau que l'on plaçait sur un feu. De cette chaudière sortait un tube creux relié à une sphère pouvant tourner autour d'un axe horizontal. De cette sphère deux autres tubes perpendiculaires à l'axe laissaient sortir la vapeur qui par propulsion faisait tourner la sphère (Figure I.1).

En 1673 Christiaan HUYGHENS, le physicien hollandais, réalisa une sorte de machine à poudre noire verticale, dont on ne peut réellement, faute de mécanique convenable (bielle et manivelle), récupérer l'énergie produite. Ouvrons une parenthèse pour rappeler que c'est en mars 1789, que Antoine Laurent de LAVOISIER montra qu'aucune combustion n'est possible sans oxygène et Signalons qu'en 1815, l'Anglais DAVY avait défini les rapports entre la masse d'un combustible et celle de l'oxygène nécessaire à sa combustion. En 1816, le Pasteur Robert STIRLING inventa un moteur à air chaud susceptible d'utiliser toutes les sources de chaleur.

Jean Joseph LENOIR inventa un nouveau type de moteur qu'il construisit en 1859. Le brevet, déposé en 1860, porte sur un "système de moteur à air dilaté par la combustion de gaz enflammé par l'électricité". Pierre HUGON fait breveter un moteur du même type. Ce sera le départ pour les moteurs à vocation automobile construits par l'allemand OTTO, en 1862 Le Français Aphones BEAU DE ROCHAS a inventé le cycle à 4 temps (admission, compression, combustion-détente (temps moteur) et échappement). Seulement, le carburant pouvant faire fonctionner ce moteur, n'existait pas encore.



Figure I.1 : L'éolipyle de Héron d'Alexandrie [1].

Mais seulement en 1876 que l'Allemand Nicholas OTTO utilisant le cycle BEAU DE ROCHAS, a réalisé le premier moteur à combustion interne à allumage commandé. Ce sera le départ des moteurs à vocation automobile et industrielle.

Mais à cette époque les rendements des moteurs étaient si faibles, ce qui à pousser l'ingénieur allemand Rudolf DIESEL à créer un moteur plus performant (rendement élevé) en 1897 tout en gardant le même principe de fonctionnement du moteur OTTO à allumage commandé mais sans bougie [2]

Il reçut un brevet pour ce procédé le 23 février 1893. Au début de l'année 1897, alors qu'il est employé à l'usine MAN à Augsburg, il construit un prototype fonctionnel, qui deviendra le « moteur diesel ». Son brevet est déposé sous le nom de « moteur à huile lourde », car c'est avec ce produit qu'il fonctionnait. Les huiles lourdes étaient que les résidus de la distillation du pétrole brut après extraction des produits utilisés à l'époque.

Le premier moteur commercialisé, présenté en 1900 à l'Exposition universelle de Paris, avait une cylindrée de 1 960 cm³ tournant à 172 tr/min et développait une puissance de 14,7 kW et ayant un rendement de 26 %.

Malgré que son système d'injection était par pompe à air, ce moteur avait un rendement assez intéressant, le Français Lucien-Eugène qui, en 1924 inventa la pompe à injection et en fit un moteur performant. Et la production par Robert Bosch a permis un développement rapide de ces moteurs. Les premières automobiles de tourisme à moteur diesel furent une Mercedes en 1936.

L'utilisation du diesel ne fera toutefois pas l'unanimité en dehors des camions et des tracteurs agricoles, car il est considéré comme trop bruyant et trop odorant. Il faudra attendre l'injection directe d'Audi, dans les années 1980 pour que le diesel connaisse un développement plus important dans l'automobile [3].

I.4. Principe de fonctionnement du moteur diesel

Le moteur diesel fonctionne selon les quatre phases fondamentales décrites par l'ingénieur français Alphonse Beau de Rochas (admission, compression, combustion, détente et échappement). Suivant que les phases du cycle se répartissent sur un tour ou sur deux tours de vilebrequin ; le moteur diesel fonctionne selon les cycles à deux temps (un tour de vilebrequin) ou à quatre temps (deux tours de vilebrequin).

I.4.1. Cycle à quatre temps

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

Les quatre temps correspondent à une rotation du vilebrequin égale à 720° , soit deux tours. Dans ce cycle nous avons les phases suivantes (Figure I.2) [4] :

- **1^{er} temps : Admission**

La soupape d'admission étant ouverte, la course descendante du piston (PMH vers PMB) crée une aspiration (dépression), de l'air pénètre dans le cylindre.

- **2^e temps : Compression**

La soupape d'admission se referme. Dans sa course ascendante (de PMB vers PMH) le piston comprime l'air à une pression de l'ordre de 3.10^6 à 4.10^6 Pascals. Cette compression brutale de l'air engendre une augmentation de température, environ 500 à 600°C .

- **3^e temps : Injection, Combustion, Détente**

Lorsque le piston arrive au voisinage du PMH enfin de compression, on injecte le combustible pulvérisé dans la chambre de combustion. La pression d'injection doit naturellement être supérieur à la pression régnant alors dans le cylindre pour permettre l'introduction du combustible. Elle varie suivant le type de moteur entre 8.10^6 et 25.10^6 Pascals.

Au contact de l'air comprimé à température élevée, le combustible s'enflamme de lui-même la température d'inflammation du gas-oil étant voisine de 300°C , donc bien inférieure à celle de l'air contenu dans le cylindre.

Il s'enflamme spontanément à mesure qu'il est injecté. Néanmoins, un certain temps mesurable s'écoule entre le début de l'injection et le début de la combustion. Cette intervalle est connue sous le nom de "délai d'allumage".

Les gaz augmentent très rapidement de volume, leur détente chasse le piston vers le bas, ou PMB. Le vilebrequin reçoit de l'énergie durant toute cette course : c'est le temps moteur.

Au moment de la combustion la pression atteint 5.10^6 à 10^7 Pascals ; la température est alors de l'ordre de 1800° à 2000°C .

- **4^e temps : Echappement**

La soupape d'échappement s'ouvre, les gaz brûlés sont chassés par le piston qui remonte.

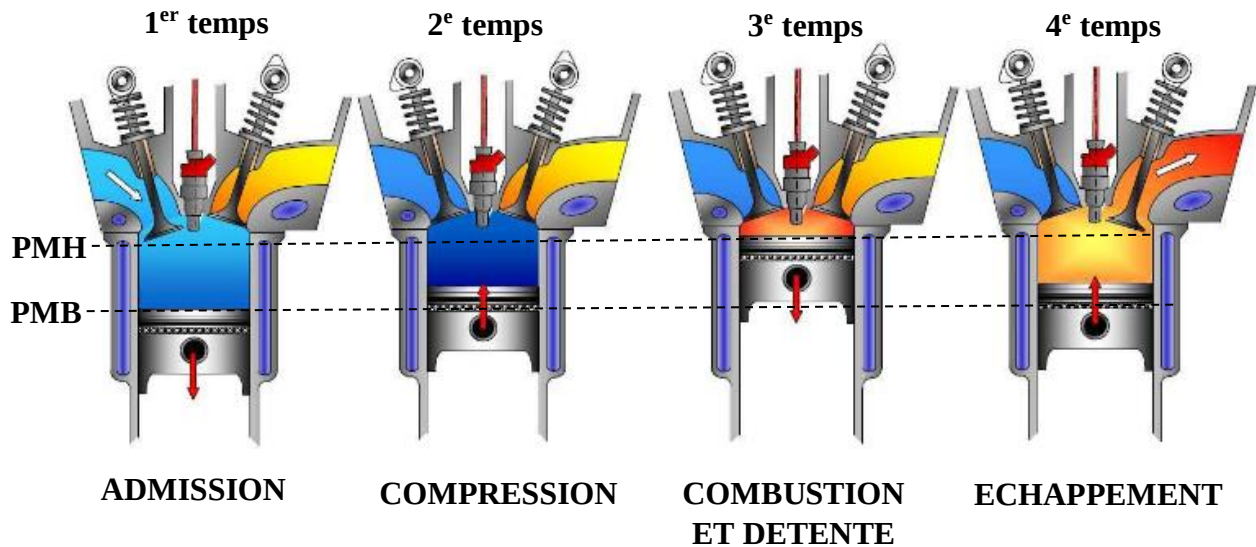


Figure I.2 : Cycle à quatre temps pour un moteur à allumage par compression (diesel) [5].

I.4.2. Cycle à deux temps

Les deux temps correspondent à une rotation du vilebrequin égale à 360° , soit un tour. Dans ce cycle nous avons les phases suivantes (voir la figure I.3) :

- **1^{er} temps**

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

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

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

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

- **2^e temps**

L'échappement des gaz brûlés, poussés par l'air frais sous pression, continue, puis le piston en remontant obture d'abord la lumière T, puis la lumière E ; à partir de ce moment, il y a compression au-dessus du piston. Vers la fin de sa course ascendante, le piston découvre la lumière d'admission et le cycle recommence [4].

**Admission dans le carter
compression au-dessus du
piston**

**Détente
compression au-
dessous du piston**

Balayage

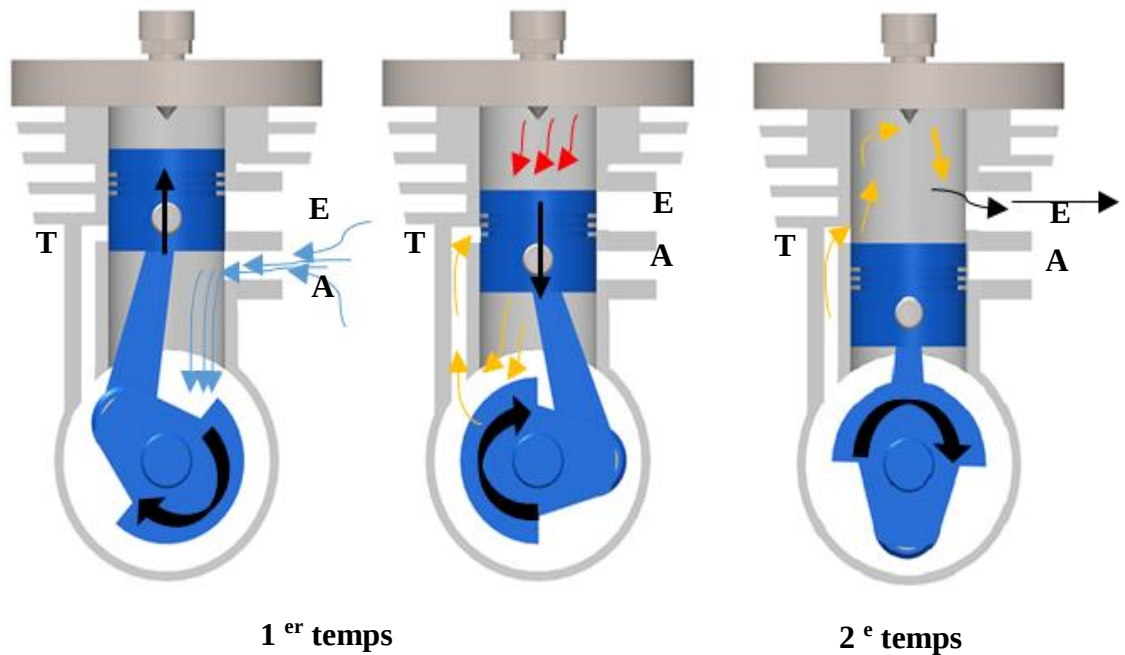


Figure I.3 : Cycles deux temps pour un moteur à allumage par compression (diesel).

I.5. Classification des Moteurs diesel

On peut classer les moteurs diesel selon plusieurs critères (système d'injection, disposition des cylindres, temps moteur.....etc.). Dans ce qui suit, on cite les classifications les plus fréquentes (Figure I.4).

I.5.1. Disposition des cylindres

La disposition et le nombre de cylindres d'un moteur alternatif sont fonction du domaine d'application et des contraintes technologiques et économiques qui en résultent. La puissance du moteur est en fonction de sa cylindrée voici quelque classification :

I.5.1.1. Cylindre en ligne

Les cylindres sont disposés verticalement ou horizontalement dans un même plan. Ils sont placés les uns à côté des autres (Figure I.5).

I.5.1.2. Cylindre en V

Les cylindres sont alignés en deux rangs décalés d'un certain angle (de 15 à 135°) [4], ce qui raccourcit considérablement la longueur du moteur par rapport à une architecture en ligne. C'est la configuration de la majorité des moteurs à six cylindres ou plus (Figure I.6).

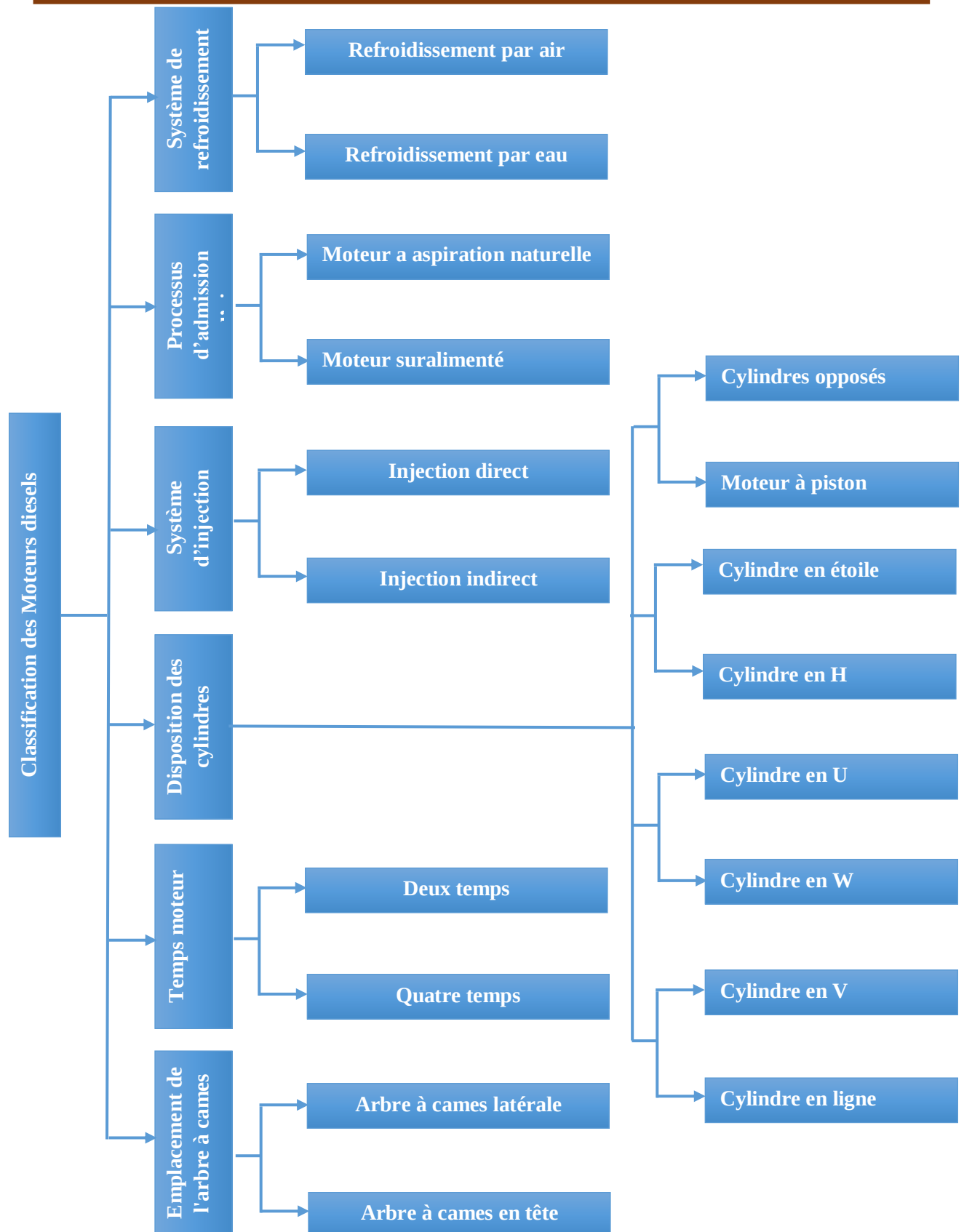


Figure I.4 : Organigramme présentant la classification des Moteurs diesel.

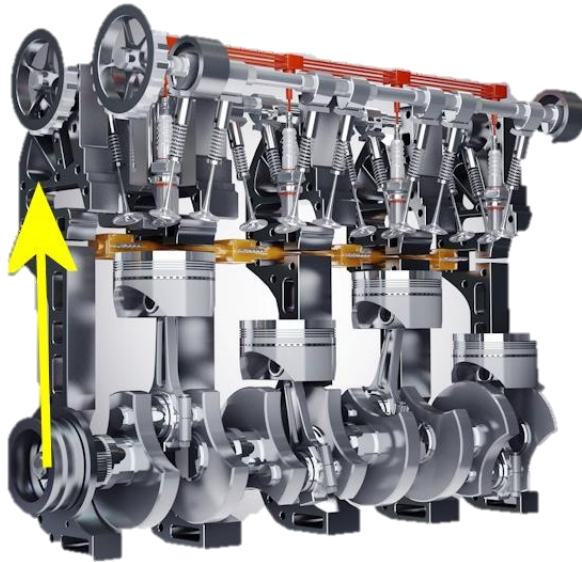


Figure I.5 : Moteur à quatre cylindre en ligne [6].

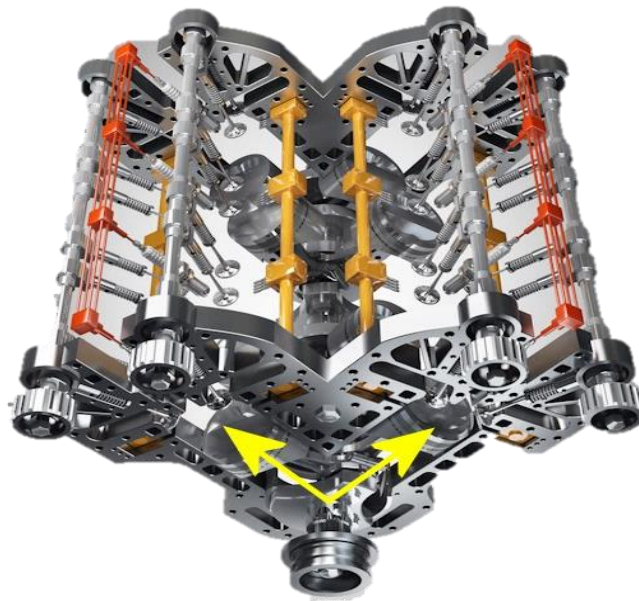


Figure I.6 : Moteur huit cylindre en V [6].

I.5.1.3. Cylindre en W

L'expression cylindres en W peut se comprendre de deux façons (voir la figure I.7) :

- Disposition en double V accolé, ce qui donne trois rangées de cylindres,
- Disposition en double V séparé, ce qui donne quatre rangées de cylindres (pouvant être regroupées deux par deux).

Le moteur à cylindres en W est à l'origine, une variante du moteur avec cylindres en V qui comporte trois bancs de cylindres. On appelle actuellement moteur à cylindres en W, un assemblage en V de deux blocs moteurs en V fermé. Chaque bloc en V présente un bloc et une culasse unique, comme celle d'un moteur en ligne, les cylindres étant disposés en quinconce [4].

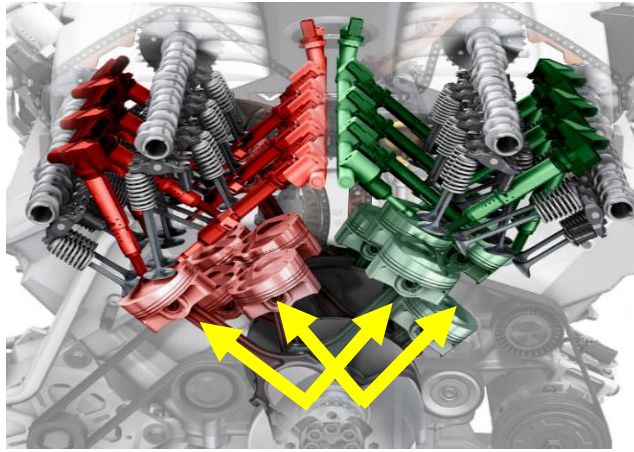


Figure I.7 : Moteur a cylindre en W [6].

I.5.1.4. Cylindre en U

Le moteur en U est un assemblage de deux moteurs en ligne dont les vilebrequins ont été reliés par l'intermédiaire d'un engrenage ou de chaînes (voir la figure I.8).

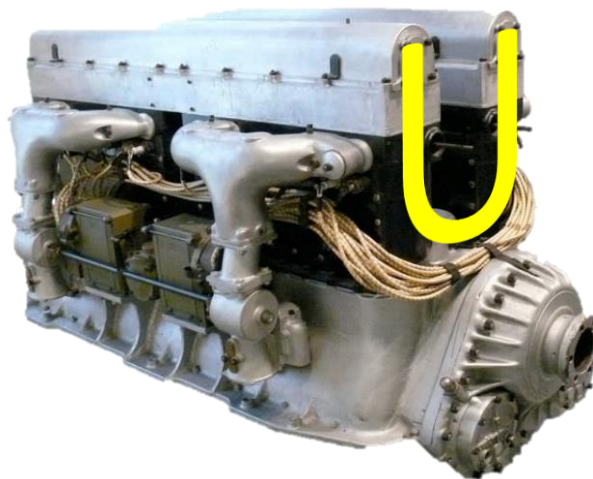


Figure I.8 : Moteur en U 16 cylindres [7].

I.5.1.5. Cylindre en H

Le moteur en H est tout simplement la superposition de deux moteurs à plat avec leurs carters d'huile mis en commun mais avec deux vilebrequins (Figure I.9).

I.5.1.6. Cylindre en étoile

Les cylindres sont répartis radialement autour du vilebrequin. Utilisé pour les moteurs d'avions et certains moteurs de motos. Ces moteurs peuvent être rotatifs, l'ensemble des cylindres constitue alors le volant d'inertie (Figure I.10).

I.5.1.7. Cylindres opposés horizontalement ou à plat

Les cylindres sont opposés et à l'horizontale. Ces moteurs permettent d'abaisser le centre de gravité des voitures. Les pistons se déplaçant dans un même plan horizontal mais dans des directions opposées (Figure I.11).

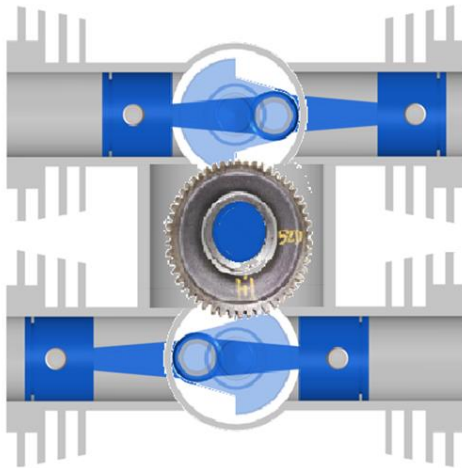


Figure I.9 : Moteur en H.

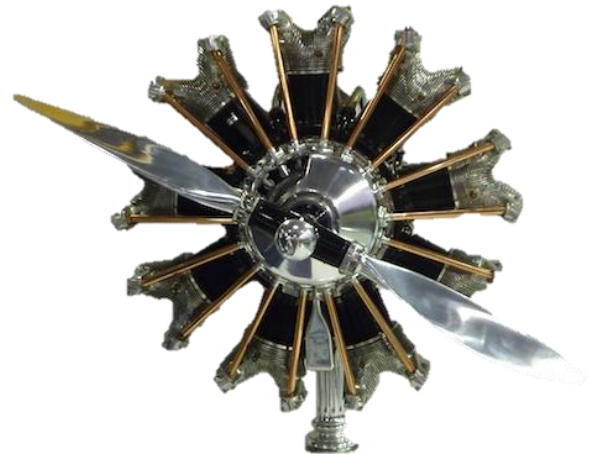


Figure I.10 : Moteur à cylindre en étoile [8].

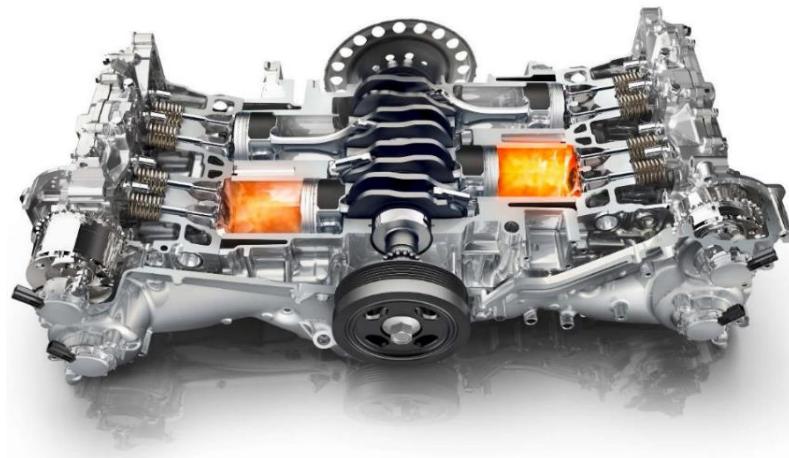


Figure I.11 : Moteur à cylindre opposée [9].

I.5.1.8. Moteur à piston opposée

Les moteurs à pistons opposés, à deux vilebrequins ou plus, ont eu leur heure de gloire à partir des années 1930. Ils ne se sont avérés efficaces qu'en cycle diesel 2-temps et n'ont jamais été développés en version essence [10] (Figure I.12).

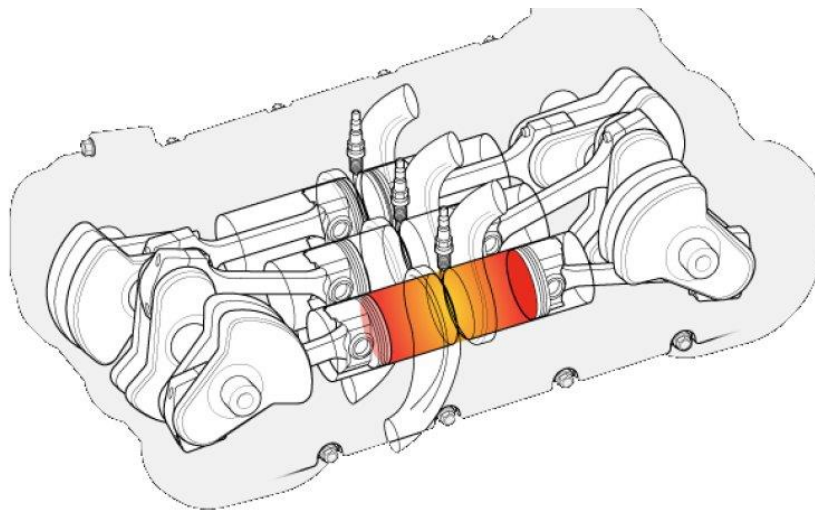


Figure I.12 : Moteur à piston opposé [10].

I.5.2. Temps moteur

Le moteur diesel fonctionne selon les cycles à deux temps (un tour de vilebrequin) ou à quatre temps (deux tours de vilebrequin).

I.5.2.1. Moteur à quatre temps

Pour les quatre phases du moteur (admission, compression, combustion et détente et l'échappement) le vilebrequin fait deux tours.

I.5.2.2. Moteur à deux temps

Pour les quatre phases du moteur (admission, compression, combustion-détente et l'échappement), le vilebrequin fait un tour.

I.5.3. Emplacement de l'arbre à cames

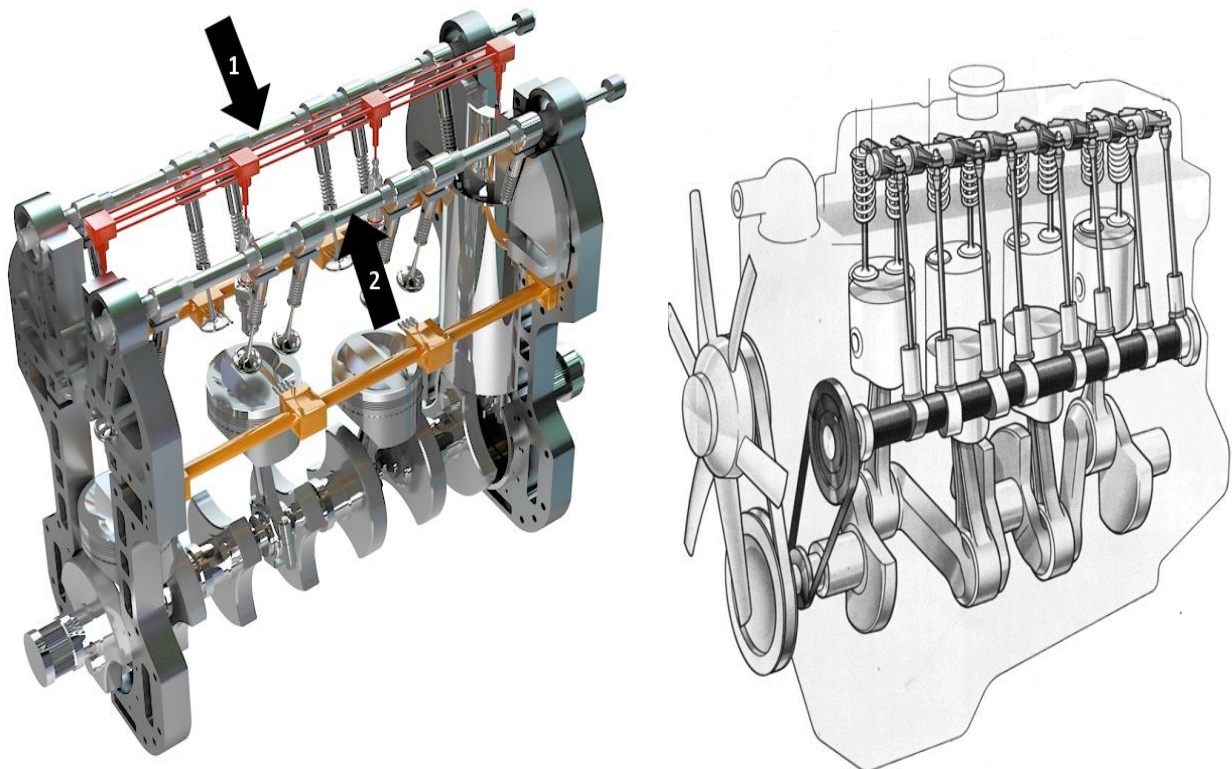
Les arbres à came dans les moteurs à combustion internes ont généralement, deux emplacements ; en tête et latéral.

I.5.3.1. Arbre à cames en tête

Il est appelé arbre à cames en tête lorsqu'il est placé sur la culasse à proximité immédiate des soupapes (Figure I.13a).

I.5.3.2. Arbre à cames latérale

L'arbre à cames est appelé latéral lorsqu'il est situé sur le côté du bloc moteur (Figure I.13).



a) Moteur à double Arbres à cames en tête. b) Moteur à arbre à came latéral dit culbuté.

Figure I.13 : Emplacement de l'arbre à came dans les moteurs diesel [11] [12].

I.5.4. Système de refroidissement

Le système de refroidissement du moteur a pour fonction :

- De dissiper le dégagement de chaleur produit par la combustion à l'intérieur des cylindres ;
- De maintenir les températures des différents organes à des niveaux compatibles avec une résistance mécanique suffisante.

Son rôle est donc essentiel pour la préservation du moteur.

I.5.4.1. Refroidissement par air

La technique la plus simple consiste à balayer les cylindres d'un fort courant d'air.

I.5.4.2. Refroidissement par eau

Dans ce système, l'eau, chargée d'évacuer les calories du moteur, circule autour des chemises et à l'intérieur des culasses.

I.5.5. Processus d'admission d'air

C'est le processus utilisé pour amener au niveau du moteur l'air nécessaire à une bonne combustion. On peut distinguer selon ce critère les moteurs suivants :

I.5.5.1. Moteur à aspiration naturelle

La descente du piston du PMH vers PMB lors de la phase d'admission crée une dépression dans le cylindre qui permet l'aspiration naturelle de l'air.

I.5.5.2. Moteur suralimenté

Dans ce cas, la pression de l'air d'admission est accrue avec le turbocompresseur entraîné par les gaz d'échappement (voir la figure I.14)

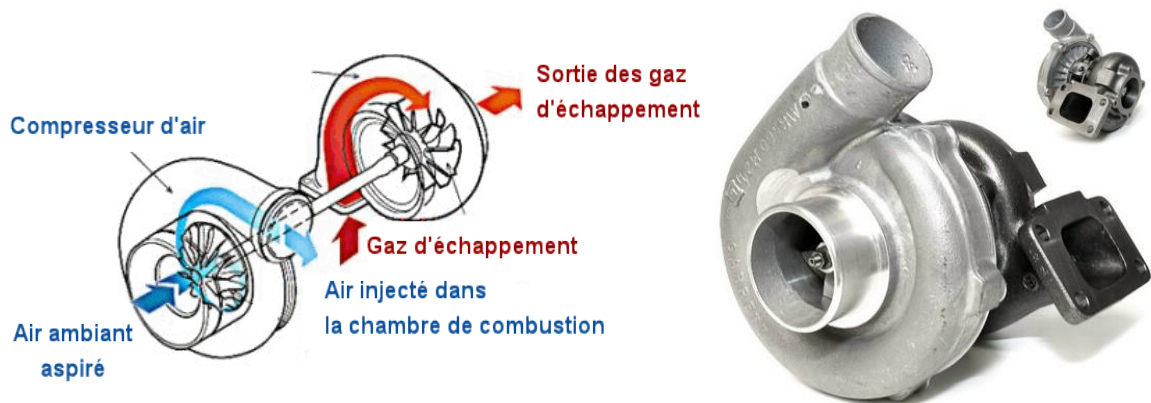


Figure I.14 : Turbocompresseur et son principe de fonctionnement [13] [14].

I.5.6. Système d'injection

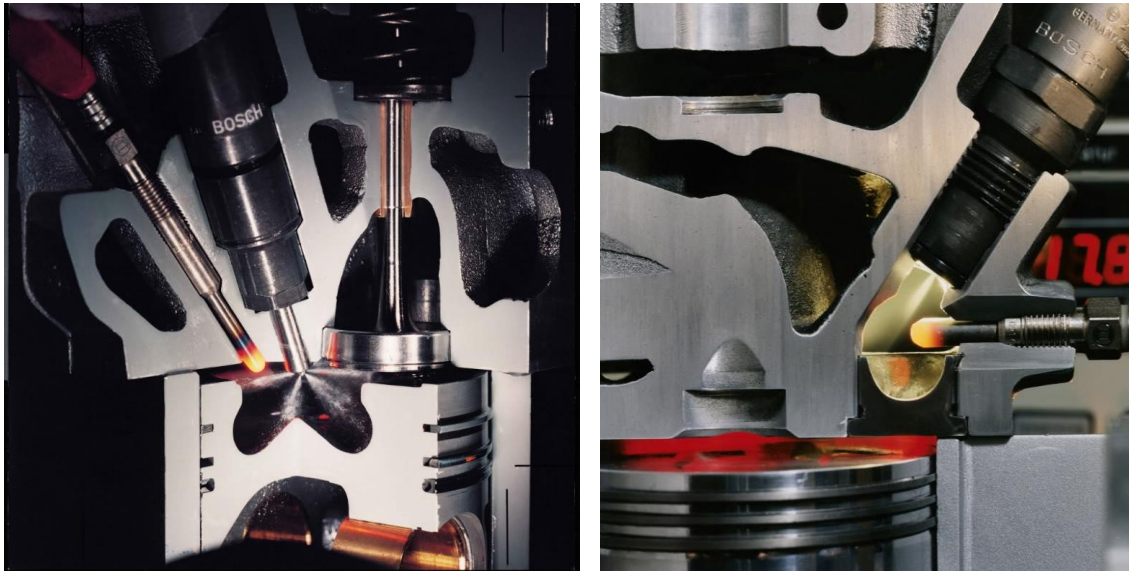
Selon le mode d'injection du combustible, on classe les moteurs diesel en deux catégories : les moteurs à injection directe et les moteurs à injection indirecte.

I.5.6.1. Injection direct

Dans les moteurs diesel à injection direct, l'injecteur pulvérise directement le combustible dans la chambre à combustion (Figure I.15a).

I.5.6.2. Injection indirect

Le terme d'indirect vient du fait que la combustion ne s'amorce pas au-dessus du piston mais dans une chambre annexe (chambre de précombustion) (Figure I.15b).



a) Injection direct.

b) injection indirect.

Figure I.15 : Différents types d'injection dans un moteur diesel [15].

I.6. Description du moteur diesel

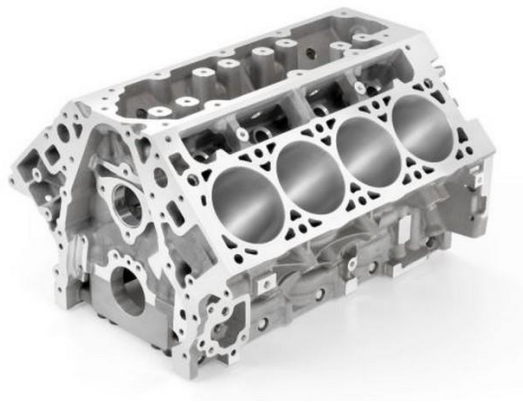
Le moteur Diesel est constitué de plusieurs pièces qu'on peut classer selon leur mouvement en :

I.6.1. Organes fixes

Les organes fixes sont les organes qui portent les organes mobiles du moteur, le moteur alternatif à combustion interne contient trois principaux organes fixes qui sont [4] :

I.6.1.1. Bloc cylindre

Le bloc-cylindres, aussi appelé bloc-moteur, constitue le bâti d'un moteur à piston dont la partie intérieure est usinée pour former les cylindres ou les logements de chemises (chemises démontables), s'il s'agit d'un moteur à chemises rapportées. L'eau de refroidissement circule librement à l'intérieur du bloc-moteur. La partie supérieure du bloc est dressée pour former le plan de joint pour la culasse, qui vient coiffer les cylindres. Le matériau constituant le bloc moteur est soit fonte spéciale (graphite Sphéroïdale) ou alliage d'aluminium. (Figure I.16).



a) Bloc moteur à cylindres usinées



b) Bloc moteur avec logements chemises

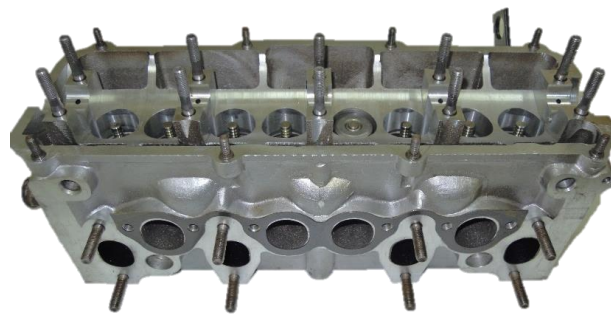
Figure I.16 : Bloc moteur [16] [17].

I.6.1.2. Culasse

La culasse assure la fermeture des cylindres dans leur partie supérieure, constituant ainsi la chambre de combustion. Elle permet :

- L'arrivée et l'évacuation des gaz ;
- La mise en position des éléments de la distribution ;
- L'évacuation rapide des calories, le point le plus chaud du moteur étant précisément la chambre de combustion.

La culasse est aussi en fonte ou en alliage d'aluminium moulé. Les contraintes mécaniques étant moins importantes que pour le bloc-moteur. Un réseau de conduits d'eau et d'huile est pratiqué dans la culasse (figure I.17).

**Figure I.17 :** Culasse moteur diesel VW D1600(laboratoire moteur, université de M'Sila).

I.6.1.3. Joint culasse

Le joint de culasse assure l'étanchéité entre la culasse et le bloc cylindre. Généralement constitué, de deux feuilles de cuivre enserrant une feuille d'amiante, ou réduit quelque fois à sa plus simple expression : une simple feuille de cuivre (Figure I.18).

Le matériau des joints culasse doit avoir les caractéristiques suivantes :

- Une bonne résistance à la pression ;
- Plasticité superficielle ;
- Imperméabilité interne pour ne pas permettre pas au liquide de migrer à l'intérieur du joint lui-même.



Figure I.18 : Joint de culasse moteur VW D1600(laboratoire moteur, université de M'Sila).

I.6.1.4. Carters

Les carters sont des couvercles qui couvrent ou ferment les différentes faces du moteur, on distingue trois principaux types de carters :

- **Carter inférieur**

C'est une pièce en forme de cuvette qui abrite le vilebrequin et les têtes de bielle et qui contient la réserve d'huile de graissage. En général, il est en tôle emboutie. Il peut être en alliage léger moulé avec nervures extérieures pour assurer un bon refroidissement de l'huile échauffée par son passage dans le moteur (Figure I.19).

L'étanchéité entre le bloc-moteur et le carter inférieur doit être parfaite : elle est assurée par un joint plat en liège ou bien par un joint cylindrique, en caoutchouc synthétique, logé dans une gorge (Figure I.20).



Figure I.19 : Carter inférieur (carter Huile) [18].



Figure I.20 : Joint carter huile VW.

- **Carter de distribution**

Pratiquement la distribution est matérialisée par une liaison mécanique entre le vilebrequin et l'arbre à cames. Cette liaison est protégée par un carter étanche en tôle ou en alliage léger, appelé le carter de distribution (Figure I.21).

- **Couvre-culasse**

Ce carter ferme la culasse des moteurs à soupapes en tête. Son intérêt est lié au fait que sa dispose permet l'opération d'atelier : "réglage des soupapes" C'est un couvercle de protection étanche par joint comme le carter inférieur. Il est parfois en alliage léger (Figure I.22).



Figure I.21 : Carter de distribution [19].



Figure I.22 : Couvercle-culasse [20].

I.6.2. Organes mobiles

Dans un moteur à piston alternatif, on transforme la poussée des gaz de combustion, force unidirectionnelle, en mouvement circulaire d'un couple de force. Les pièces mécaniques chargées de cette transformation constituent les éléments mobiles du moteur : le piston, la bielle et le vilebrequin (Figure I.23) [4].



Figure I.23 : Attelage mobile [21].

I.6.2.1. Piston

Animé d'un mouvement rectiligne alternatif, le piston est réalisé en alliage léger, fonte, acier ou alliage d'aluminium moulé. La tête de piston forme une partie de la chambre de combustion. A ce titre, elle est quelque fois creusée de cavités destinées à créer une turbulence favorable à la combustion (Figure I.24).

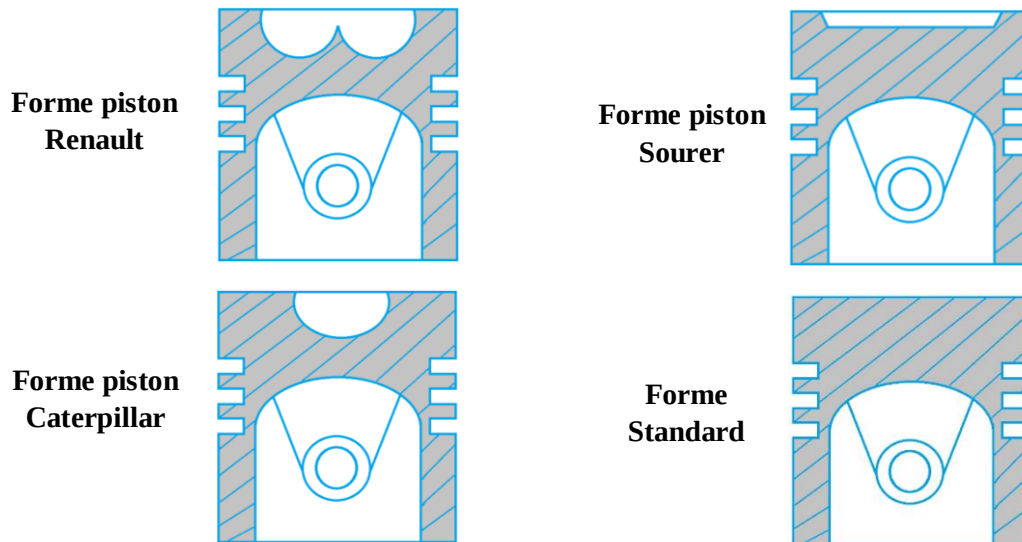


Figure I.24 : Formes de têtes de pistons [4].

Des segments logés dans la partie haute du piston, la tête, assurent l'étanchéité de la chambre de combustion. On distingue le segment de feu, les segments d'étanchéité et les segments racleurs, dont l'un est souvent disposé plus bas que l'axe de piston (Figure I.25). Les segments utilisent une variété de, ces matériaux incluent les polymères, ainsi que les "Super alliages", matériaux riches en nickel ou en cobalt. Le segment de feu est le plus souvent chromé. Il est disposé assez loin du bord du piston afin d'éviter qu'il soit soumis directement à la chaleur dégagée lors de la combustion [4].

- **Le segment de feu ou coupe-feu**, qui est le plus proche de la chambre de combustion, il permet à la combustion du mélange air-gasoil d'imprimer une poussée maximale au piston, il arrête, comme son nom l'indique, les gaz brûlants et réduit la température de la paroi du piston se trouvant au-dessous du segment coupe-feu ;
- **Le segment d'étanchéité ou de compression** (celui du milieu) assure le complément d'étanchéité des fuites de gaz passées à travers le segment de feu. Il a presque le même aspect que le coupe-feu ;
- **Le segment racleur**, le plus en bas, est généralement composé de trois éléments : deux rails très minces en haut et en bas et un expandeur élastique perforé, il sert à racler l'huile présente sur le cylindre sous le piston pour éviter qu'elle soit brûlée. Cette huile est projetée en permanence sur le cylindre par le mouvement des bielles (graissage par barbotage), par le retour d'huile de lubrification de l'axe du piston ou par des gicleurs spéciaux projetant l'huile sur le piston pour le refroidir.

Ces pièces (segments) sont très minces et cassantes, elles sont fabriquées à partir d'un ressort d'acier élastique, coupé ensuite en rondelles constituant les segments. Elles sont généralement asymétriques (tierçage) : il faut faire attention au sens de montage lors de l'assemblage du moteur (face top mentionnée sur le segment qui se dirige vers la tête du piston). L'espace entre les deux extrémités du segment lorsqu'il est introduit dans le cylindre s'appelle le jeu à la coupe. Sa mesure permet d'évaluer l'usure du segment [4].

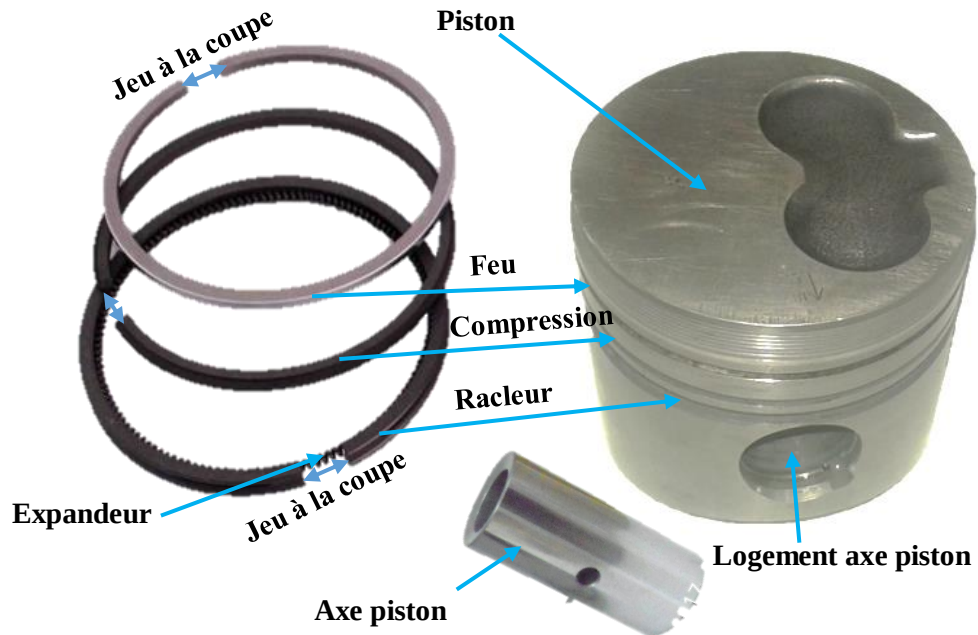


Figure I.25 : Piston, segment et axe Piston du moteur VW D1600 (Laboratoire moteur, université de M'Sila).

I.6.2.2. Bielle

La bielle assure la liaison entre le vilebrequin et le piston. Elle permet la transformation du mouvement rectiligne alternatif du piston en mouvement circulaire continu du vilebrequin. Réalisée en acier, elle doit pouvoir résister à des efforts de compression très élevés (Figure I.26).



Figure I.26 : Bielle Moteur MTU.

- **Les coussinets**, les coussinets sont des pièces recouvertes de métal antifriction (alliages de bronze avec de l'antimoine ou du plomb.) servant à guider et à supporter des organes tournants. La fonction des coussinets est de réduire les frottements, donc de diminuer les résistances au mouvement et d'éviter l'usure ou encore le grippage des pièces (Figure I.27). Les coussinets se composent généralement de deux éléments appelés coquilles (cas de tête de bielle), mais ils peuvent être également, en une seule pièce, dans ce cas, on les appelle, plutôt bagues (cas de pied de bielle). Les coussinets sont montés généralement sur les paliers de l'arbre moteur, sur les manetons, les paliers de l'arbre à cames, sur la tête et le pied de bielle.....etc. Ils contiennent des ergots dont le rôle principal est le positionnement axial des coussinets, afin d'éviter qu'ils tournent dans leurs logements.

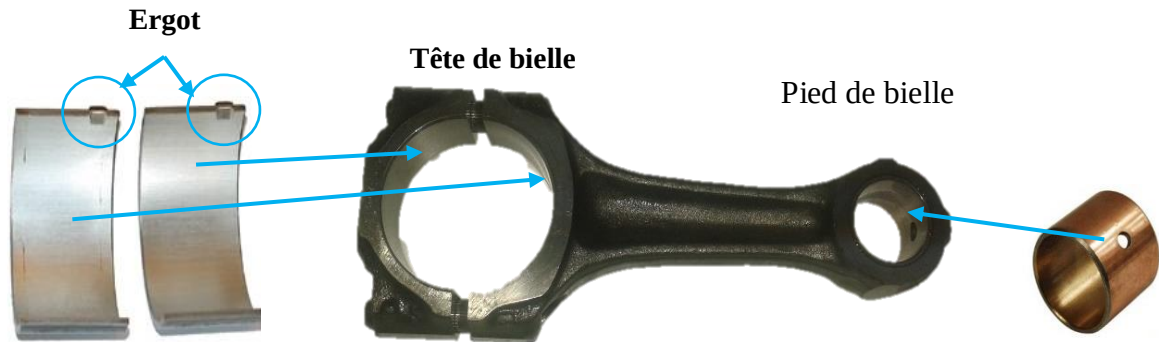


Figure I.27 : Bielle, coussinets et bague du moteur VW D1600(laboratoire moteur, université de M'Sila).

Dans certains moteurs en V, les cylindres étant répartis dans chaque branche du V sur un même plan incliné, c à d que deux bielles sont articulées sur le même maneton, trois dispositions d'embellage ont été adoptées [22] :

- **Bielles à œil**, elle permet de n'avoir qu'un seul coussinet sur lequel peuvent s'exercer des pressions maximales. La bielle principale qui porte le coussinet est appelée "bielle maitresse" , la biellette s'articule sur un axe monté fixe dans un œil solidaire de la tête de la bielle maitresse (Figure I.28).
- **Bielle à fourche**, la tête de la bielle principale est constituée d'une fourche dans la partie centrale de laquelle de déplace l'autre bielle. Le coussinet est fixé à demeure sur la bielle à fourche, tandis que l'autre bielle tourillonne sur l'extérieur de ce coussinet, recouvert à cet effet d'antifriction. La vitesse de glissement de la face extérieure du coussinet est plus faible que celle de la face intérieure puisqu'elle correspond au seul mouvement relatif entre les bielles (Figure I.29).
- **Bielles côte à côte**, cette disposition implique que les cylindres soient décalés dans chaque rangée. Si chaque bielle a ses propres coussinets, elle ressemble en tout point à une bielle simple. Cette solution conduit à une forte longueur de maneton (Figure I.30).



Figure I.28 : Bille à œil (moteur GE).



Figure I.29 : Bielle à fourche [23].



Figure I.30 : Bielle côte à côte [24].

I.6.2.3. Vilebrequin (arbre moteur)

Le vilebrequin est la manivelle qui reçoit la poussée de la bielle et fournit un mouvement rotatif à partir du mouvement alternatif du piston. La force exercée par la bielle applique au vilebrequin un couple qui se retrouve au bout de celui-ci sous forme de couple moteur (Figure I.31).

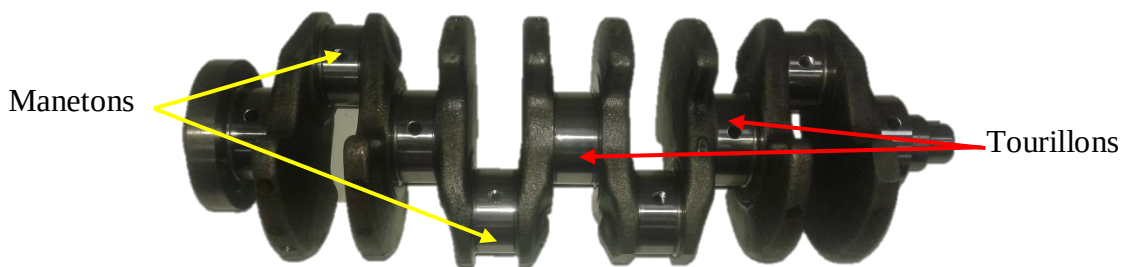


Figure I.31 : Vilebrequin VW D1600. (Laboratoire moteur, université de M'Sila).

I.7. Caractéristiques du moteur

Les caractéristiques d'un moteur sont les paramètres géométrique et physiques qui caractérisent le moteur, parmi ces caractéristiques on peut citer :

- **L'alésage** : C'est le diamètre (**d**) du cylindre.
- **La course** : C'est la distance (**C**) parcourue par le piston entre le Point Mort Haut (PMH) et le Point Mort Bas (PMB) c'est la géométrie du vilebrequin qui définit la course, celle-ci est deux fois le rayon de la manivelle. La course et alésage s'expriment en général en mm.
- **Cylindrée unitaire (V)** : C'est le volume défini entre le point mort haut (PMH) et le point mort bas (PMB) dans un cylindre, la cylindrée s'exprime en général en cm^3 parfois en litres elle vaut :

$$V = \frac{\pi \times d^2}{4} \times c \quad (\text{I.1})$$

- **Cylindrée du moteur V_t** : Lorsqu'il y a plusieurs cylindres, la cylindrée du moteur est le produit de la cylindrée unitaire par le nombre de cylindres n .

$$V_t = V \times n \quad (I.2)$$

- **Rapport volumétrique τ** : Le volume compris entre la culasse et le piston lorsque celui-ci se trouve au PMH constitue la chambre de combustion (ou volume mort) v . Dans le cas des moteurs Diesel à préchambre de combustion, une partie de ce volume mort se situe dans la culasse. La valeur du rapport volumétrique est donnée par la formule :

$$\tau = \frac{V + v}{v} \quad (I.3)$$

Généralement il est compris entre d'environ 14 :1 à 25 :1 ; [4]

La figure I.32 résume les différentes caractéristiques géométriques des moteurs alternatifs à combustion interne, en général.

- **Couple moteur** : Les gaz de combustion exercent une pression (c-à-d. une force par unité de surface) sur la tête du piston. Chaque piston est soumis à une force qui s'exerce dans la direction de son déplacement et qui est appliquée aux manetons créant ainsi un couple moteur qui se transmet au vilebrequin.

Nous pouvons calculer le couple moteur en fonction de la puissance par la relation suivante :

$$P = C\omega \quad (I.4)$$

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad (I.5)$$

Avec : **P** la puissance exprimée en Watts (W) ; **C** le couple en newton-mètre (N.m) ; ω la vitesse angulaire en radians/seconde (rad/s) et **n** le nombre de tours par minute (tr/mn).

Nous avons aussi :

$$C = F_t \times R \quad (I.6)$$

F_t l'effort tangentiel en Newton (N)

R le rayon du volant moteur en mètres (m)

Donc on obtient :

$$P = \frac{2\pi n}{60} \times F_t \times R \quad (I.7)$$

$$C = \frac{P \times 30}{\pi n} \quad (I.8)$$

Rappelons qu'un cheval vapeur vaut 736 Watts.

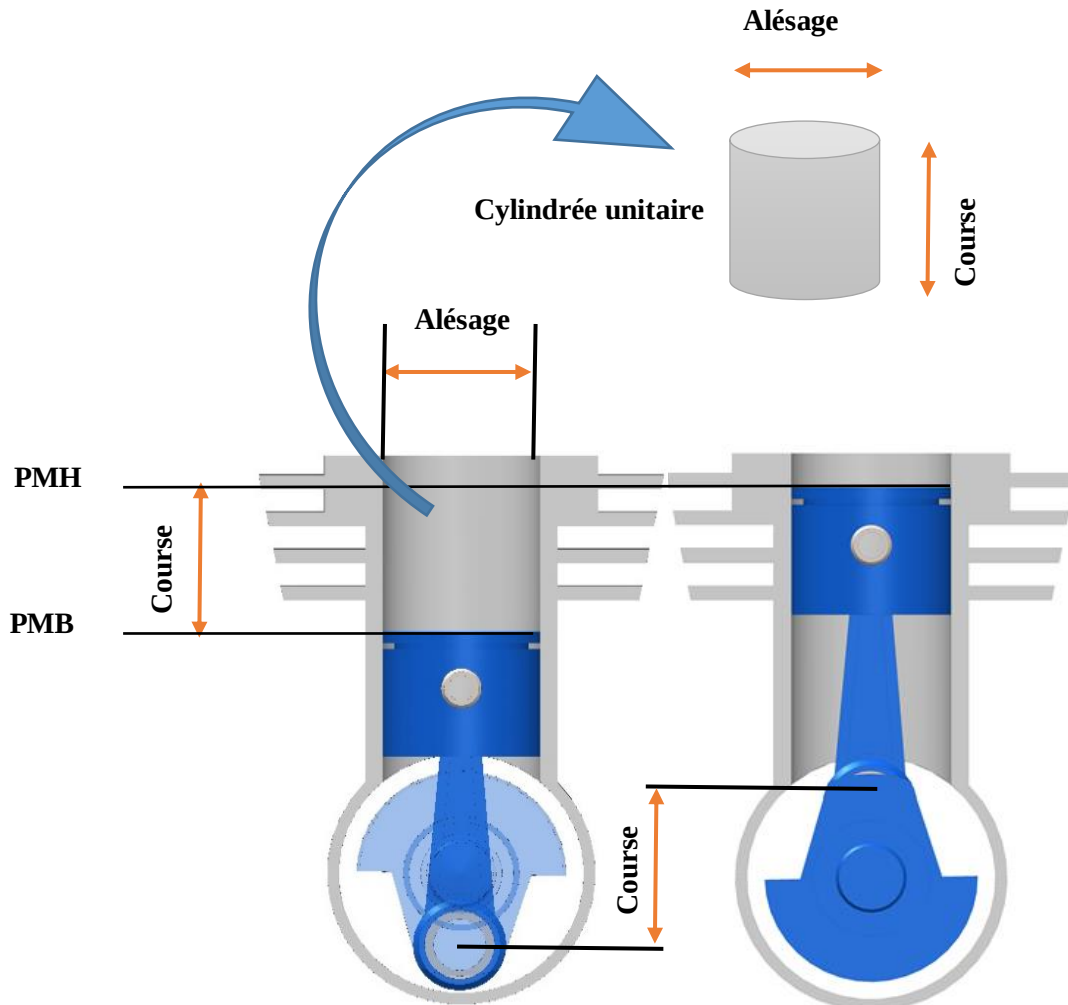


Figure 1.32 : Schéma représentant quelques les caractéristiques géométriques du moteur.

I.8. Système de distribution

Le système de distribution est l'ensemble des organes qui réalisent l'ouverture et la fermeture des soupapes d'admission et d'échappement, et des éléments qui effectuent leur commande. Le rôle de la distribution est de commander l'ouverture et la fermeture des soupapes, imposer leur instant d'ouverture, amplitude et durée de leur mouvement ainsi que l'instant d'injection du gasoil. Le principe de fonctionnement de la distribution est le suivant :

L'ouverture et la fermeture des cylindres sont réalisées par des soupapes. L'ouverture est possible grâce à des cames, la fermeture est assurée par des ressorts de rappel. La transmission du mouvement de l'arbre à cames aux soupapes est assurée par des poussoirs. Elle peut comprendre également des tiges de culbuteurs et des culbuteurs.

La synchronisation avec le vilebrequin est réalisée soit par des pignons, chaînes ou courroies crantées reliés entre le vilebrequin, arbre à came et pompe à injection (système indérégable).

I.8.1. Réalisation de l'épure de distribution

Rappelons dans le cycle réel avant réglage que les soupapes s'ouvrent et se ferment rigoureusement au passage d'un point mort. En fait un moteur qui fonctionnerait suivant ce

calage aurait un rendement déplorable, car l'admission et l'échappement seraient mal réalisés, compte tenu de l'inertie des masses gazeuses à mettre en mouvement.

Afin de remédier à cela, on augmente le temps d'ouverture des soupapes.

Pour le temps d'admission :

- Avance d'Ouverture des soupapes d'Admission (AOA) ;
- Retard de Fermeture des soupapes d'Admission (RFA).

Pour le temps d'échappement :

- Avance d'Ouverture des soupapes d'Echappement (AOE) ;
- Retard de la Fermeture des soupapes d'Echappement (RFE).

Le piston se trouve à quelques millimètres avant ou après les points morts au moment des avances et des retards.

Par exemple :

En AOA, le piston se trouve à quelques millimètres avant le PMH, vers la fin du temps échappement du cycle précédent. On observe que dans cette position, le maneton de la bielle se trouve positionné à quelques degrés avant la verticale.

En constatant qu'à chaque position du piston correspond une position angulaire du vilebrequin, nous pouvons indiquer les valeurs des réglages :

- Soit en millimètres de course du piston ;
- Soit en degrés de rotation du vilebrequin.

Donc, l'épure circulaire c'est la représentation graphique qui permet de visualiser les angles de la distribution d'un moteur (Figure I.33).

Nous constatons que, comme dans le diagramme réel, le temps échappement se termine alors que le temps admission est déjà commencé. On appelle ce point le croisement des soupapes. Les valeurs d'avance et de retard d'ouverture et de fermeture varient suivant les types de moteurs et sont obtenues par la forme donnée aux cames.

Voici le temps pratique d'ouverture et de fermeture exprimé en degrés d'angle du Moteur ABC Diesel 12 cylindres VDZC (moteur de production électrique) : [25]

✓ Admission :	AOA (avant PMH)	60
	RFA (après PMB)	40°
✓ Echappement :	AOE (avant PMB)	62°
	RFE (après PMH)	55°
✓ Croisement des soupapes		115°
✓ Début d'injection avant le PMH		$\alpha = 18$

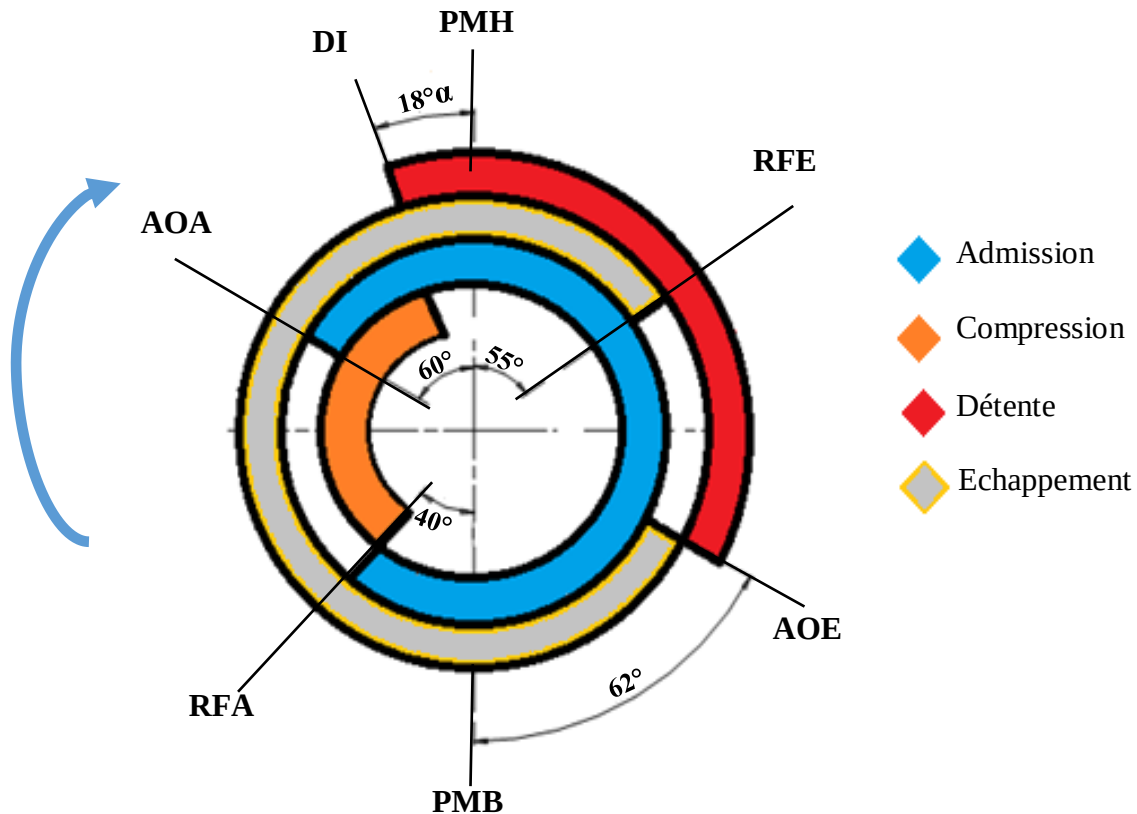


Figure I.33 : Représentation angulaire des différentes phases pour un moteur Diesel à quatre temps.

I.8.2. Eléments de la distribution

Les éléments de distribution sont l'ensemble des pièces qui assure la commande des soupapes et le temps d'injection, le vilebrequin assure l'entraînement de l'arbre à cames et la pompe d'injection. L'arbre à cames doit tourner deux fois moins vite que le vilebrequin car les soupapes ne doivent s'ouvrir qu'une fois par cycle dans un moteur à quatre temps. L'entraînement est assuré par l'intermédiaire de l'un des systèmes suivants :

- **Les engrenages**, utilisés particulièrement dans les moteurs diesel (Figure I.34) ;
- **Les pignons reliés par chaîne**, ce système est couramment utilisé dans les moteurs à arbre à cames latéral et dans certains arbres à cames en tête (Figure I.35) ;
- **Les pignons reliés par courroie crantée**, système de plus en plus répandu dans les moteurs à arbre à cames en tête. Son fonctionnement est plus silencieux et ne nécessite pas de système de lubrification (Figure I.36).

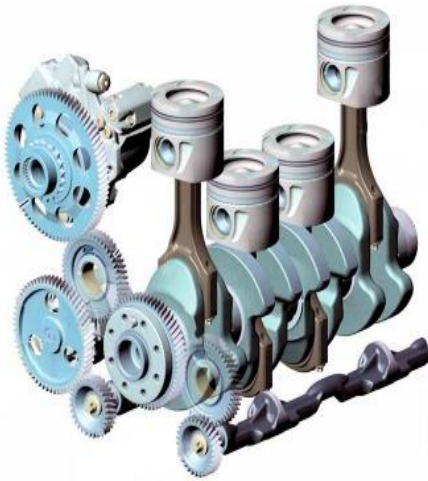


Figure I.34 : Liaison par engrenage [26].



Figure I.36 : Liaison par courroie crantée [28].

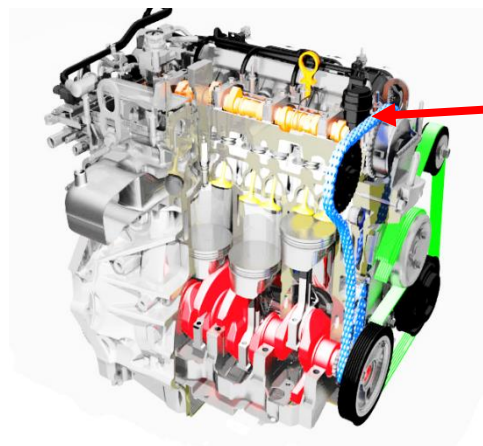


Figure I.35 : Liaison par chaîne [27].

Les principaux éléments qui assurent la commande de l'ouverture et la fermeture des soupapes sont les suivantes :

I.8.2.1. Arbre à cames

L'arbre à cames est l'élément le plus important de la commande de distribution et parfois de l'injection. Il est chargé de commander de façon très précise la levée des soupapes et d'assurer cette levée pendant une durée bien déterminée, correspondant au diagramme de distribution du moteur. Il doit résister aux torsions provenant de la poussée des ressorts et à l'usure par frottement. L'arbre à cames peut être en fonte spéciale moulée ou en acier forgé ou cimenté trempé (Figure I.37) [4].

Selon la disposition des cylindres et celle des soupapes on peut trouver des moteurs ayant deux ou quatre arbres à cames en tête.

- **La came**, c'est la partie la plus délicate dans la conception d'un arbre à cames car son profil détermine le mouvement d'ouverture et de fermeture (Figure I.37), la durée d'ouverture et la levée des soupapes. Le profil de la came est normalement différent pour les soupapes d'admission et d'échappement car les lois que doivent suivre ces deux pièces sont différentes

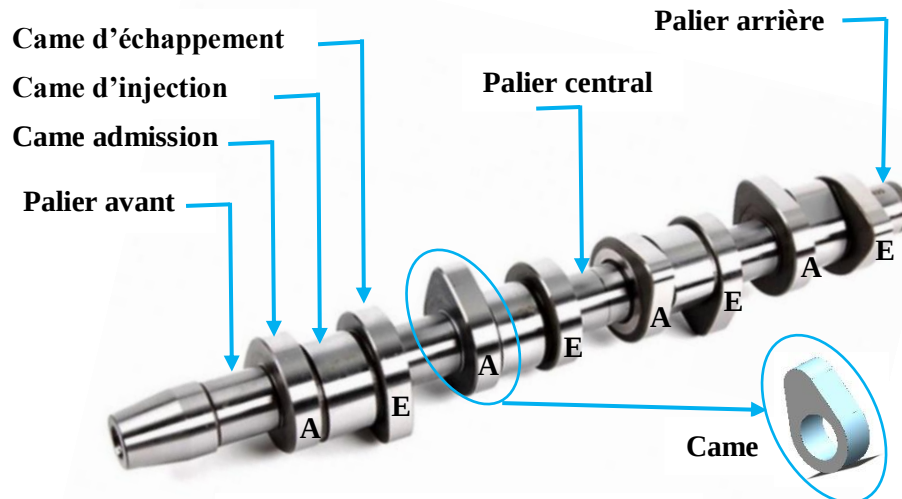


Figure I.37 : Arbre à came [29].

I.8.2.2. Les soupapes

Les soupapes sont les organes qui régissent l'entrée et la sortie des gaz dans la chambre de combustion. Le diamètre de leur tête doit être important. Cette dimension est limitée par la place libre dans la chambre de combustion, le poids de la soupape qui doit rester minimal, et par sa résistance mécanique aux chocs et aux déformations. La portée conique assure une étanchéité parfaite à la fermeture et un centrage correct évitant la déformation de la tige. Les angles de portée sont d'environ 90° . Les soupapes d'admission qui subissent des températures moins élevées peuvent avoir un angle de 120° , protégeant moins bien la soupape des déformations, mais offrant, pour une même hauteur de levée (Figure I.38), une section de passage de gaz plus importante. Les soupapes de grande série sont en acier au nickel-chrome et obtenues par matriçage avec chauffage électrique. Ils sont tournés puis rectifiés. Les queues et les portées reçoivent un traitement qui accroît leur dureté. Pour les moteurs présentant des surchauffes au niveau des soupapes, on dispose de soupapes à tige creuse et partiellement remplies de sodium ou des sels de lithium et de potassium [4].

Généralement le diamètre des soupapes d'admission est plus grand que celles d'échappement (Figure I.39), les têtes de soupapes sont généralement plates, convexe ou concave. Un bon contact entre la soupape et son siège assure ainsi une parfaite phase de compression pour cela le rodage de soupape avec leur siège est nécessaire avant chaque remontage, l'opération de rodage est la friction des soupapes avec leurs sièges en présence d'une substance fricative (pâte à roder), pour étanchéité la surface de contact entre piston et siège

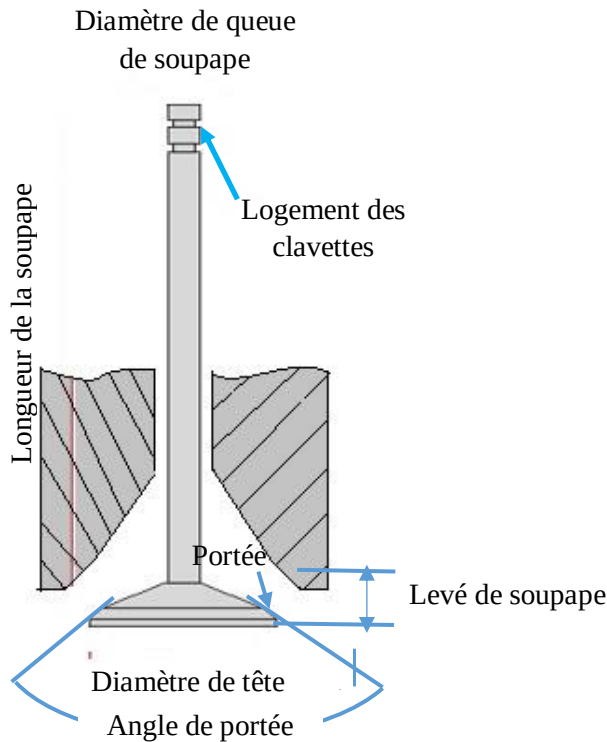


Figure I.38 : Détails d'une soupape.



Figure I.39 : Dimensions soupapes moteurs [30].

I.8.2.3. Eléments intermédiaires

Ce sont les éléments qui se situent entre l'arbre à came et les soupapes. Ces derniers sont cités ci-dessous (Figure I.40) [4]:

- **Poussoirs**

Des poussoirs sont interposés entre les cames et les queues de soupapes (cas d'arbre à came en tête). Ils servent d'intermédiaire entre le mouvement de rotation des cames et le mouvement rectiligne des soupapes. Il existe plusieurs types de poussoir comme les poussoirs cylindriques, les poussoirs à galet et les poussoirs hydrauliques (poussoir fonctionnant sans jeu grâce au système hydraulique du poussoir) (Figure I.41).

- **Ressorts de soupapes**

Autour de la tige de chaque soupape, on monte un ressort hélicoïdal comprimé entre une face usinée de la culasse et une cuvette en acier solidaire à la queue de soupape. Lorsqu'on comprime un ressort à une fréquence élevée celui-ci risque d'entrer en résonance. On dit qu'il y a "affolement des soupapes". Pour éviter l'affolement des soupapes les constructeurs utilisent notamment :

- ✓ Des ressorts à pas variable ;
- ✓ Deux ressorts antagonistes (Sens d'hélice opposé ; le diamètre de l'un n'est que de 0.5 mm supérieur au diamètre extérieur de l'autre, de sorte qu'il y a frottement entre eux et étouffement des vibrations).

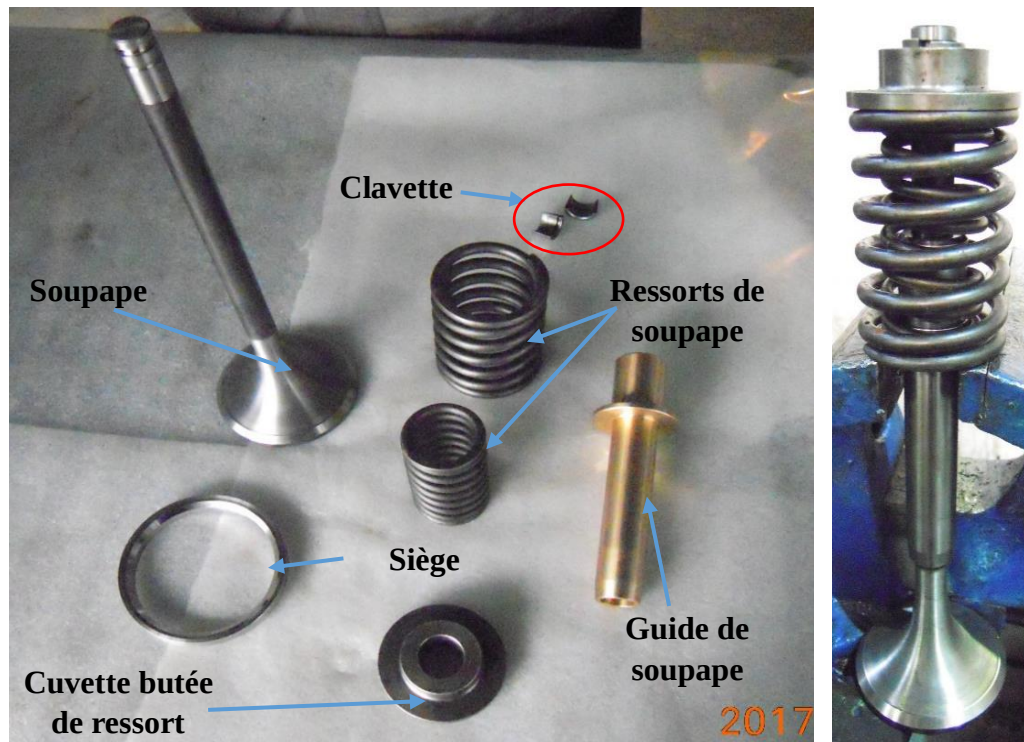


Figure I.40 : Eléments intermédiaires de distribution.



Poussoir hydraulique [32].



Poussoir à galet



Poussoir Cylindrique [33].

Figure I.41 : Différentes types de poussoirs.

Dans les moteurs dont l'arbre à came est latéral, on trouve d'autres éléments intermédiaires qui assurent la distribution cités ci-dessous :

- **Tige culbuteurs**

C'est un élément de la commande de distribution qui transmet le mouvement de la came au culbuteur dans un moteur culbuté (arbre à came latéral), fabriqué généralement en acier. Elle comporte deux extrémités ; une de forme sphérique qui prend appuie au fond d'un poussoir et l'autre en forme de cuvette (Figure I.42) dans laquelle s'articule la vis de réglage portée par le culbuteur [4]

- **Culbuteurs**

Un culbuteur est un levier basculant qui fait partie de la transmission secondaire alternative de la commande de distribution. Le culbuteur reçoit en un point la poussée de la came, soit directement soit par l'intermédiaire d'une tige, et par un autre point pousse la soupape en ouverture. Le culbuteur peut être en fonte, matériau convenant pour les parties frottées (Figure I.42). Il peut être en acier, mais nécessite alors un traitement thermique pour durcir les parties frottées.



Figure I.42 : Tige de culbuteur (moteur TD111) et culbuteur (moteur ABC).

I.8.3. Emplacement de l'arbre à cames

Deux solutions sont utilisées (cf : paragraphe I.5.3.1) :

- L'arbre à cames est appelé latéral lorsqu'il est situé sur le côté du bloc moteur. Le problème de ce type de moteur est que la chaîne cinématique comprend beaucoup de mouvements alternatifs (tiges, culbuteurs et soupapes). Le poids de toutes ces pièces en mouvement donne une certaine inertie à la chaîne cinématique ce qui limite la montée en régime mais aussi le régime maximum du moteur, et donc la puissance maximum du moteur.
- L'arbre à came est appelé en tête lorsqu'il est placé sur la culasse à proximité immédiate des soupapes. Selon la disposition des cylindres et celle des soupapes on peut trouver des moteurs ayant deux ou quatre arbres à cames en tête. Les arbres à cames en tête permettent une attaque plus directe sur les soupapes. Le nombre de pièces en mouvement, les jeux et les usures sont ainsi diminués.

I.8.4. Calage de la distribution

Quel que soit le système de commande de la distribution, le réparateur se trouve confronté au problème du positionnement relatif des éléments afin que le mouvement de l'arbre à cames soit coordonné avec celui du vilebrequin de sorte que les soupapes se lèvent et se ferment au moment où les pistons passent par un point donné de leur cycle. Cette opération de positionnement est appelée : "calage de la distribution". Dans la pratique les constructeurs prévoient des repères sur les différents éléments de la commande de distribution : pignons, roues de chaîne, roues dentées, chaînes et courroies. Il suffit que le réparateur associe ces repères pour que le montage soit correct (Figure I.43).

Généralement pour régler le calage de distribution d'un moteur diesel en cas où on n'a pas repéré le système d'entraînement avec les éléments de distribution durant le démontage du moteur, on doit exécuter les étapes suivantes :

- Le premier piston du moteur (le plus poché du côté de distribution) en position PMH ;
- Arbre à came en balance pour le premier piston (piston en fin de compression) ;
- Tourner la pompe d'injection jusqu'à l'instant où la sortie de la pompe d'injection du premier cylindre, refoule complètement, une goutte du gasoil.

Donc, comme vous remarquez on règle juste l'arbre à came, l'instant d'injection et le PMH du premier piston et les autres pistons sont automatiquement réglés selon l'ordre d'allumage du constructeur.

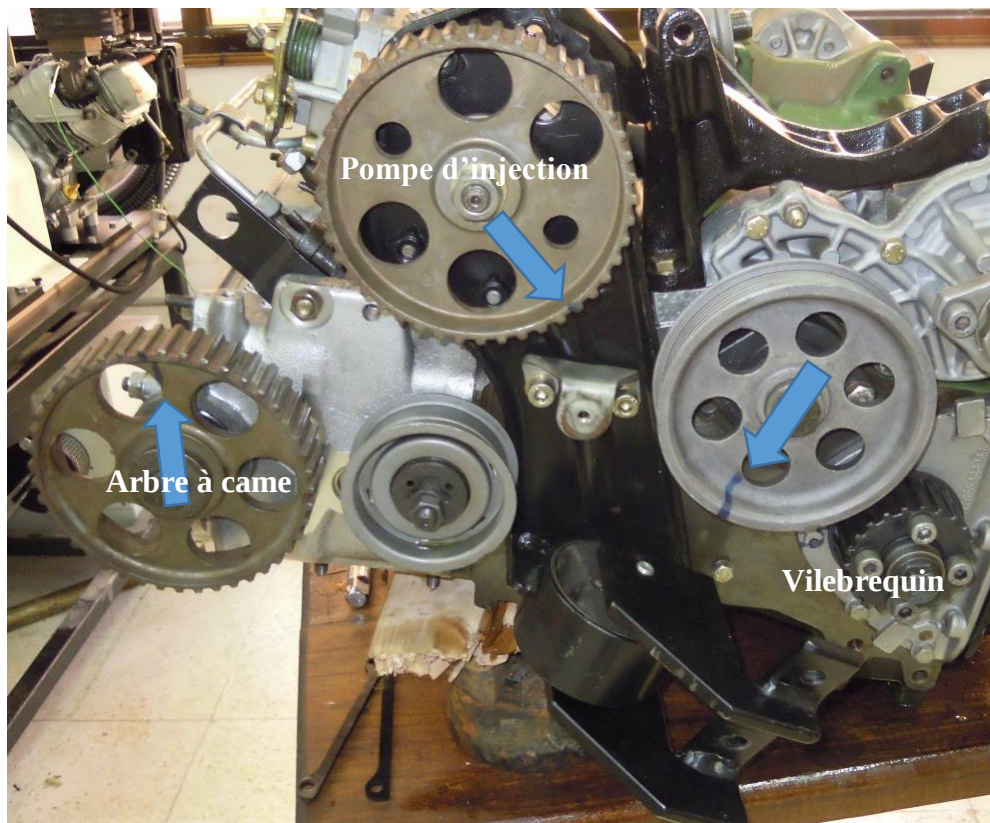


Figure I.43: Calage de distribution moteur VW D1600 (Laboratoire moteur, université de M'Sila).

I.8.5. Jeu des soupapes

On appelle "jeu des soupapes" l'espace qu'il convient de laisser, moteur arrêté, entre l'extrémité de la queue de soupape et sa commande pour garantir l'appui de la tête de soupape sur son siège, malgré les variations de température auxquelles sont soumis les éléments du moteur.

Ce jeu a pour buts :

- D'assurer une fermeture parfaite des soupapes quelles que soient les dilatations ;
- D'assurer avec exactitude l'ouverture et la fermeture des soupapes aux points définis par le constructeur.

Par exemple, un jeu trop important produit une usure anormale par chocs et une diminution des performances du moteur par diminution des angles de distribution.

Le constructeur préconise un jeu à froid généralement compris entre [4] :

- 0.10 et 0.30 mm pour l'admission ;
- 0.20 et 0.45 mm pour l'échappement.

Par exemple, pour le moteur ABC VDZC on a les jeux suivants préconisés par le constructeur [25] :

- 0.15mm pour l'admission ;
- 0.20mm pour l'échappement.

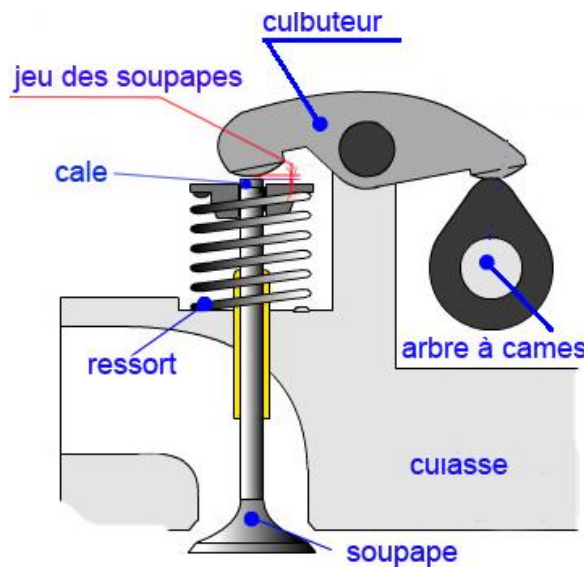


Figure I.44 : Réglage des jeux des soupapes moteur TD111 (Laboratoire moteur, université de M'Sila) [33].

I.9. Système de lubrification et de refroidissement

I.9.1. Système lubrification

Le système de lubrification du moteur a pour rôle de diminuer les résistances passives dues aux frottements des pièces en mouvement les unes par rapport aux autres en facilitant leur glissement. La lubrification favorise en outre le refroidissement des différents organes du

moteur tout en assurant leur propreté. Elle participe aussi à assurer l'étanchéité de la chambre de combustion. Toute absence de lubrification se traduit par une élévation de température de frottement qui provoque, à terme, le grippage de l'ensemble piston-bielle-vilebrequin.

I.9.1.1. Circuit de lubrification

Le système de lubrification (Figure I.45) est constitué de :

- **Une pompe à huile** qui aspire l'huile contenue dans le carter et la refoule dans le circuit sous pression. La pompe à huile est l'un des organes auxiliaires les plus importants du moteur. La solidité, la performance et la longévité du moteur sont liées à l'efficacité de la lubrification donc en grande partie, au fonctionnement de la pompe à huile quel que soit le type de pompe, à engrenage (Figure I.46) ou à rotor (Figure I.47), le fonctionnement est identique. On peut le dissocier en deux (02) phases ;

✓ **1^{er} phase : aspiration**

Le volume de la chambre d'aspiration augmente, la pression devient inférieure à la pression qui règne dans le carter inférieur, l'huile est aspirée.

✓ **2^e phase : refoulement**

Le volume de la chambre de refoulement diminue, la pression augmente, et l'huile est refoulée vers les zones à lubrifier.

Le débit de la pompe à huile, proportionnel à la vitesse de rotation du moteur, est régulé par le clapet de décharge (Figure I.48). La pression maximale de refoulement dépend du type de moteur, la valeur moyenne est comprise entre 3,5 et 5 bars. [34]

La pompe à huile peut être entraînée par (Figure I.49) :

- ✓ Par un arbre commandé par l'arbre à cames à l'aide d'un renvoi d'angle ;
- ✓ A partir d'un pignon situé sur le vilebrequin ou système de distribution ;
- **Un clapet de décharge** qui régule la pression d'huile quelle que soit la vitesse de rotation du moteur ;
- **Un filtre** destiné à épurer l'huile, la filtration de l'huile est assurée à deux niveaux. Le premier niveau de filtrage se situe dans la crépine d'aspiration, située en bas du carter d'huile (Figure I.45). Le second niveau est assuré par le filtre à huile. Le filtre à huile se présente sous la forme d'une cloche cylindrique vissée sur le bloc moteur dans lequel une feuille de fibre pliée en accordéon retient les impuretés (Figure I.50). Le degré de filtration des filtres de qualité standard est d'environ 15 à 20 microns. Dans certains moteurs lorsque la chute de pression due au colmatage du filtre dépasse 1bar/cm^2 , un clapet by-pass situé à l'intérieur du filtre s'ouvre. L'huile est alors envoyée en urgence, sans traverser le filtre, dans la rampe principale. Récemment des modules de commande électronique (ECM) l'arrêtent immédiatement, en cas de chute de pression afin d'éviter son endommagement [34] ;
- **Une canalisation appelée rampe d'huile** qui permet la distribution de l'huile sous pression aux différents organes à lubrifier. L'huile retombe ensuite par gravité dans le carter, par des retours prévus à cet effet.

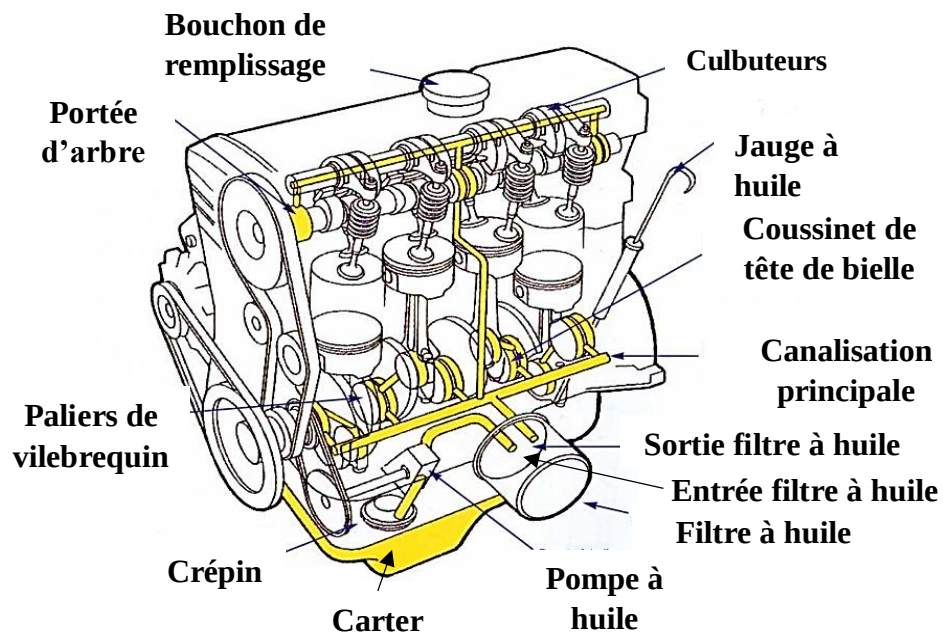


Figure I.45 : Circuit de lubrification du moteur à quatre temps [34].

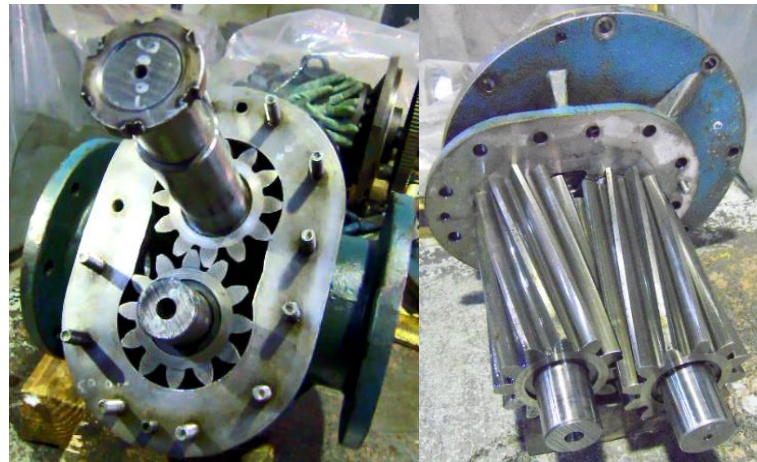


Figure I.46 : Pompe à huile à engrenage (Moteur CMI).



Figure I.47 : Pompe à huile à rotor (Moteur Perkins).

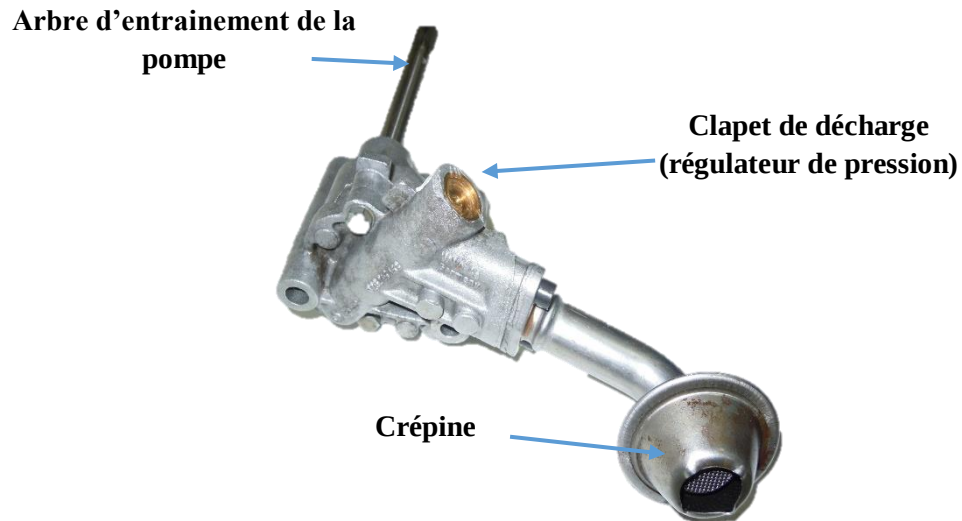


Figure I.48 : Pompe à huile à engrenage du moteur VW D1600 (Laboratoire moteur, université de M'Sila).

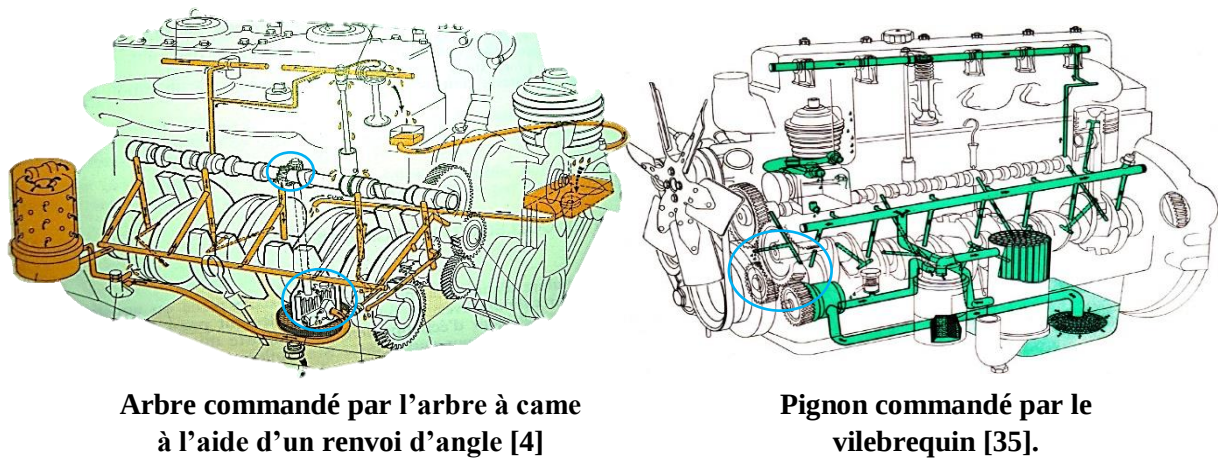


Figure I.49 : Types entrainement de la pompe à huile.

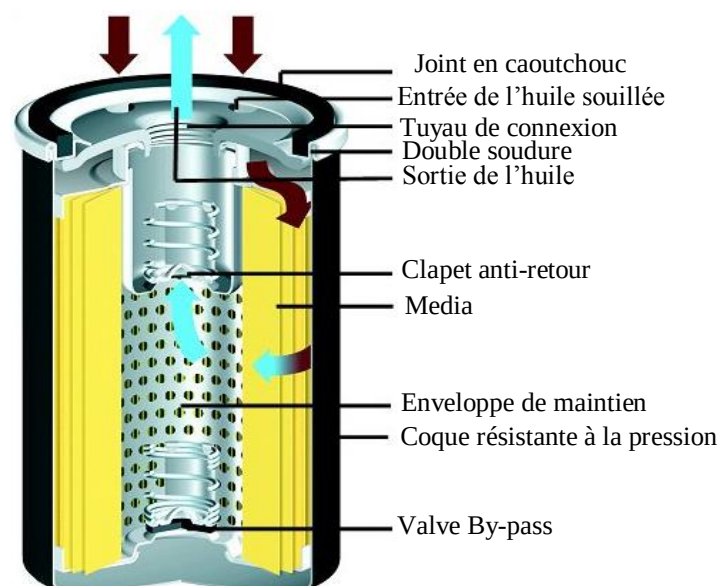


Figure I.50 : Coupe d'un filtre à huile [36].

I.9.1.2. Types de systèmes de lubrification

Il existe deux types de systèmes de lubrification des moteurs (Figure I.51), ces systèmes sont :

- **Graissage sous pression à bain d'huile**

Le carter inférieur constitue une réserve d'huile. Cette dernière est aspirée au travers d'une crépine par une pompe, qui la refoule à une pression dont la valeur maximale (environ 4 à 5 bars) [34] est contrôlée par une soupape de décharge, vers successivement :

- ✓ Le filtre à huile ;
- ✓ La rampe principale qui alimente les paliers de vilebrequin ;
- ✓ La rampe de distribution qui permet de lubrifier les contacts cames ;
- ✓ Patins ou cames ;
- ✓ Poussoirs.

L'huile retombe ensuite par gravité dans le carter inférieur par des retours prévus à cet effet. On trouve ce genre de graissage dans tous les types de moteur diesel ; c'est le plus utilisé (automobile, groupe électrogèneetc.). C'est une solution simple qui nécessite une seule pompe à huile et utilise le carter comme réservoir, son inconvénient est le bain d'huile qui perturbe le mouvement du vilebrequin (perte énergie), huile non refroidie.

- **Graissage sous pression à carter sec**

Dans ce cas l'huile qui retombe dans le carter inférieur est aussitôt aspirée par une pompe d'épuisement vers un réservoir d'huile souvent séparé du moteur (Figure I.52). De là, l'huile est aspirée puis refoulée sous pression par une pompe d'alimentation analogue, vers le reste de circuit de graissage.

La pompe d'épuisement a un débit largement supérieur à celui de la pompe d'alimentation, dans un rapport de l'ordre de 1.5 à 2 [37]. Elle aspire donc, en même temps que de l'huile, une certaine quantité d'air. D'où l'intérêt de ce type de pompe à huile ayant de bonnes propriétés anti-mousse. Le réservoir d'huile permet une désaération de l'huile avant son départ vers la pompe d'alimentation. Les deux pompes, d'épuisement et d'alimentation peuvent être toutes deux des pompes à engrenages entraînées par un même arbre relié au vilebrequin. On trouve ce genre de graissage uniquement dans les moteurs immobiles comme les groupes électrogènes (anciens moteurs).

Les avantages de cette technologie sont :

- ✓ La propriété anti-mousse de l'huile qui se refroidit à travers son passage par le radiateur (échange thermique fluide /huile) pour atteindre enfin, le réservoir externe d'huile ;
- ✓ Le vilebrequin n'est plus immergé dans l'huile qui ne perturbe plus son mouvement ;
- ✓ Le carter d'huile est moins épais ce qui abaisse le centre de la gravité du moteur.

Par contre les inconvénients de cette technologie sont les suivants :

- ✓ Le système est complexe, plus cher, plus difficile à contrôler le niveau d'huile, en plus de l'existence de deux vis de vidanges (un sur réservoir extérieur et l'autre sur le carter qui contient toujours un peu d'huile).

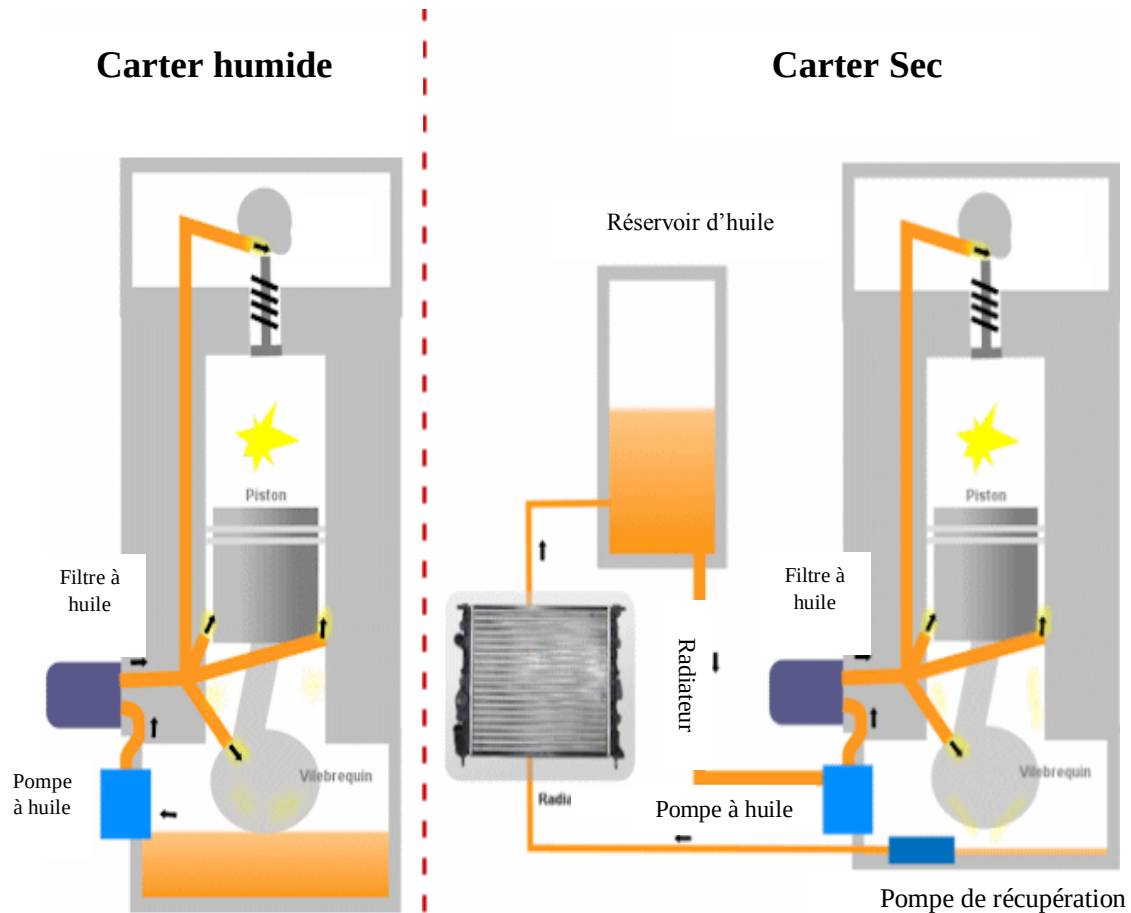


Figure I.51 : Types de système de lubrification [38].

I.9.2. Système de refroidissement

Le système de refroidissement du moteur a pour fonction de :

- Dissiper le dégagement de chaleur produit par la combustion à l'intérieur des cylindres
- Maintenir les températures des différents organes à des niveaux compatibles avec une résistance mécanique suffisante.

Son rôle est donc essentiel pour la préservation du moteur.

Les principaux systèmes de refroidissement des moteurs diesel et des moteurs à essence sont :

I.9.2.1. Refroidissement par eau

Une circulation d'eau interne refroidit le moteur, ensuite l'eau est refroidie dans un radiateur. Dans ce système de refroidissement, le moteur, en particulier la culasse et le bloc-cylindres, comporte des cavités (chambres d'eau) dans lesquelles circule l'eau de refroidissement. La circulation de l'eau est assurée par une pompe à eau centrifuge (Figure I.52).

Le circuit de refroidissement par eau est composé de :

- **Pompe à eau**

La fonction de la pompe à eau est de faire circuler le liquide de refroidissement dans le moteur et le radiateur, pour éliminer les calories. La pompe est généralement entraînée par une

poulie liée en rotation au vilebrequin par l'intermédiaire d'une courroie. La pompe à eau comprend deux parties (Figure I.53) :

- ✓ Une partie "poulie entraînement" destinée à permettre la rotation de l'arbre de la pompe à eau par le vilebrequin par l'intermédiaire d'une courroie ;
- ✓ Une partie "roue de la pompe", immergée dans le circuit d'eau et assurant la circulation de l'eau dans le circuit de refroidissement du moteur et accouplé avec la poulie d'entraînement.

Cette deuxième partie doit être séparée de façon étanche de la première pour éviter une entrée d'air dans le circuit d'eau ou une fuite d'eau vers les roulements due au l'usure de joint spi ou l'axe d'entraînement de roue de la pompe à eau.

- **Thermostat et circuit de circulation de l'eau dans le moteur**

Lorsque le moteur est froid, le thermostat est fermé et va contraindre l'eau à circuler que dans le moteur. L'eau circulera autour des cylindres et dans la culasse pour être ensuite retournée à la pompe à eau dans la canalisation interne du bloc moteur. Une fois la température de fonctionnement atteinte, le thermostat va s'ouvrir et en même temps obturer la canalisation interne de retour de la pompe à eau et passe vers l'échangeur pour le refroidissement (Figure I.52). L'emplacement de thermostat varie selon le constructeur ; on peut le trouver dans la pompe à eau (Figure I.53) ou à l'extérieur dans le circuit d'eau (Figure I.52).

- **Echangeur de chaleur**

Un échangeur de chaleur (eau-air ou eau-eau) utilisé pour abaisser la température du liquide de refroidissement. Dans le cas des automobiles on a un radiateur (échangeur eau/air), dans les grands moteurs on trouve généralement des échangeurs de type tubes et calandre. Le rôle de l'échangeur est de refroidir l'eau circulant dans le moteur pour diminuer la température du moteur. La majorité des moteurs utilise le refroidissement par eau, on le trouve dans les automobiles, les groupes électrogènes ...etc.

Le liquide de refroidissement des moteurs doit être composé de :

- ✓ L'eau traitée, qui évite la surchauffe du moteur ;
- ✓ L'antigel, qui sert à protéger le moteur contre le gel ;
- ✓ L'anticorrosif, qui évite la corrosion des parties métalliques du moteur.

I.9.2.2. Refroidissement par air

Un courant d'air frais passe à travers le moteur et refroidit la culasse et la chemise qui sont dotées d'ailettes afin d'augmenter l'échange thermique solide air (Figure.I.54). En automobile, c'est le refroidissement par eau qui est le plus utilisé. Ce type de refroidissement est plus utilisé pour les motos et quelques camions (ex : camion SNVI B260).

En effet, le coefficient de conductivité thermique de l'air étant plus faible que celui de l'eau, les surfaces d'échange doivent être augmentées et le débit d'air doit être très important. Pour les moteurs à poste fixe, le moteur est caréné avec des tôles et l'air est pulsé par une soufflante.

I.9.2.3. Avantages et inconvénients des différents systèmes de refroidissement

La capacité thermique massique de l'eau est supérieure à celle de l'air, c'est pourquoi le refroidissement par eau est généralement plus efficace que celui par air. Un désavantage du refroidissement par eau est qu'une fuite peut se produire dans les tuyaux et cause un court-circuit dans l'alternateur ou la partie électrique du groupe électrogène. Un autre désavantage du refroidissement par eau est que nous avons à faire à de grandes, lourdes et complexes installations. Les groupes refroidis par air n'ont généralement qu'un ventilateur. Un des avantages des groupes électrogènes refroidis par eau est qu'ils sont plus silencieux, car le liquide sert d'isolation acoustique. Le refroidissement par air est moins coûteux parce que le moteur est fabriqué en matériaux plus légers.

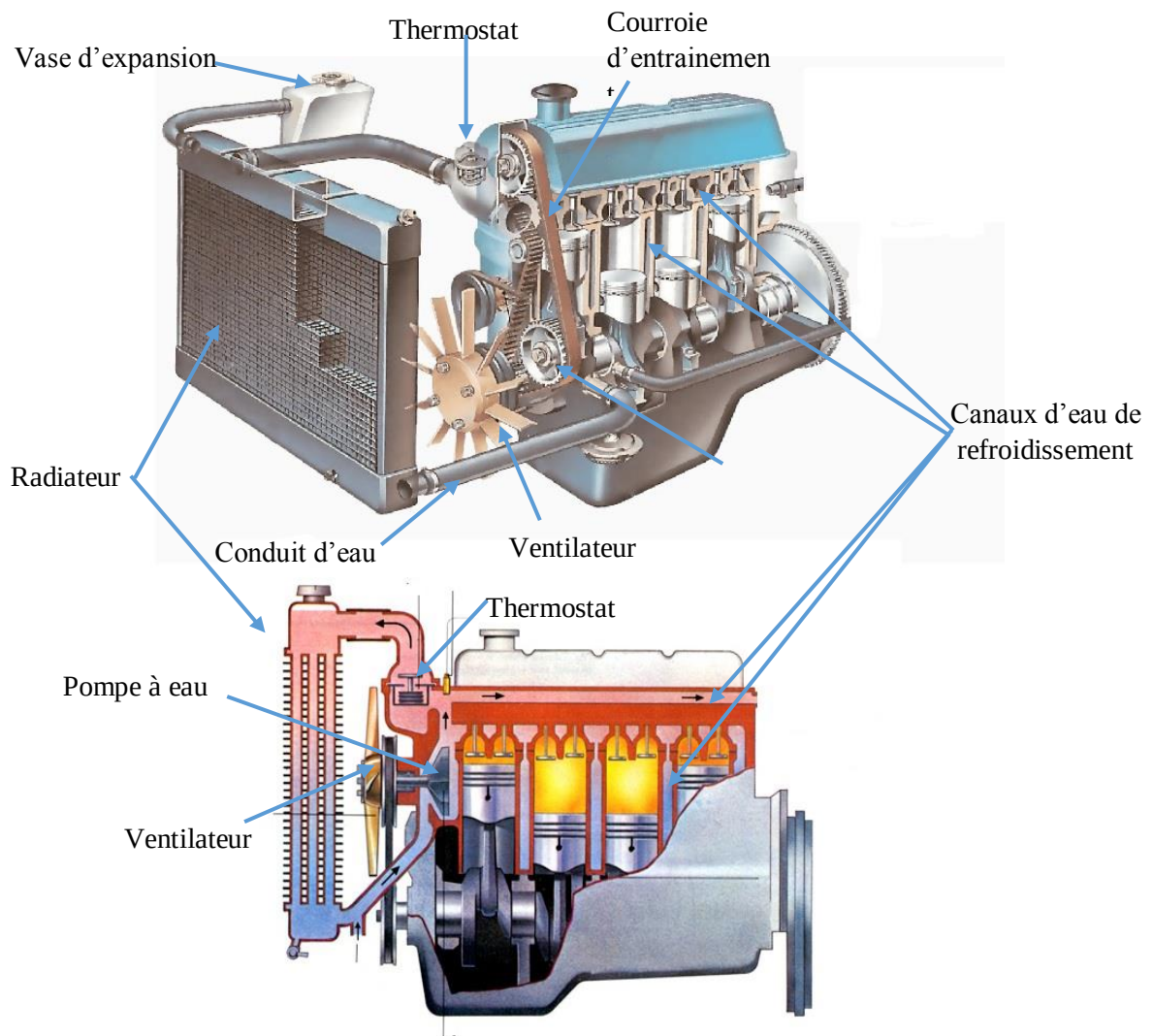


Figure I.52 : Circuit de refroidissement d'un moteur à combustion interne [39] [40].

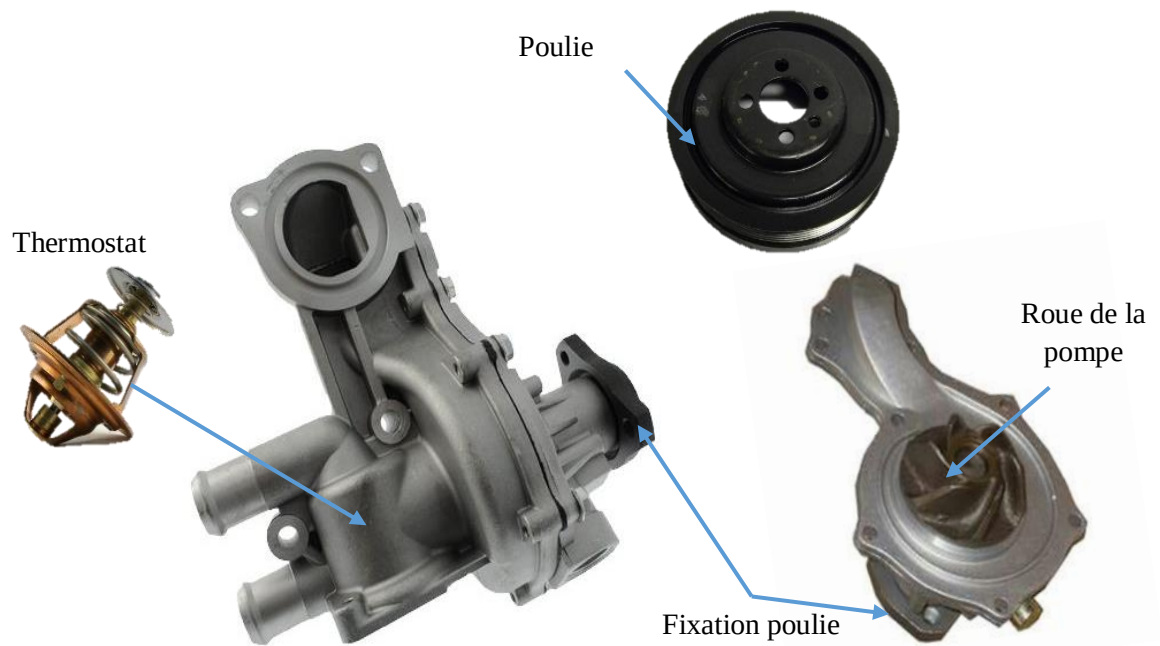


Figure I.53 : Vue éclatée de la pompe à eau VW D1600.



Figure I.54 : Moteur refroidi par air [41].

I.10. Système d'alimentation et d'injection

Le circuit d'alimentation du combustible a pour rôle d'amener à chaque cylindre une quantité bien déterminée de combustible parfaitement filtrée, parfaitement dosée sous haute pression, à un moment précis et ce, quelles que soient les conditions d'utilisation du moteur.

I.10.1. Organisation du circuit d'alimentation

Le système d'alimentation en combustible du moteur diesel comprend (Figure I.56) :

- **Un réservoir**, c'est le récipient qui contient le gasoil ;
- **Un préfiltre**, Il est monté en série entre le réservoir et la pompe d'alimentation. Son rôle est d'arrêter les impuretés de l'ordre du 1/100^e de millimètre [34] et d'éliminer l'eau, en suspension dans le gasoil, par décantation ;
- **Une pompe d'alimentation**, située sur le moteur, elle assure l'alimentation sous une légère pression de la pompe d'injection. Elle est constituée d'une membrane et de deux clapets : un d'aspiration et l'autre de refoulement. Elle est commandée par l'arbre à cames. La pompe d'alimentation peut être électrique et démarre avec le chauffage du moteur pour alimenter le circuit en carburant ;
- **Un filtre** (Figure I.55), monté en série entre la pompe d'alimentation et la pompe d'injection, son rôle est d'arrêter les plus petites impuretés (2 à 3 microns) [34] afin de protéger la pompe d'injection et les injecteurs. Récemment, les préfiltres se trouvent combinés avec les filtres dans un seul dispositif qui s'appellent filtre ;



Figure I.55 : Filtre à gasoil moteur VW D1600 (Laboratoire moteur, université de M'sila).

- **Une pompe à injection**, est un organe mécanique qui crée une pression élevée et constante pour distribuer le carburant avec un dosage précis aux différents injecteurs du moteur. On verra les différents types et les différentes conceptions de pompes par la suite ;
- **Un ou plusieurs injecteurs**, Ce sont les organes qui diffusent le carburant sous forme de micro gouttelettes afin d'assurer un bon mélange avec l'air. Plus la pompe à injection offre une pression, plus le diamètre des injecteurs, destinés à la pulvérisation, est réduit. La conception d'injecteur (forme de tête d'injecteur) varie selon le type d'injection (Figure I.56)

Ces divers éléments sont reliés entre eux par des tuyauteries spécifiques.

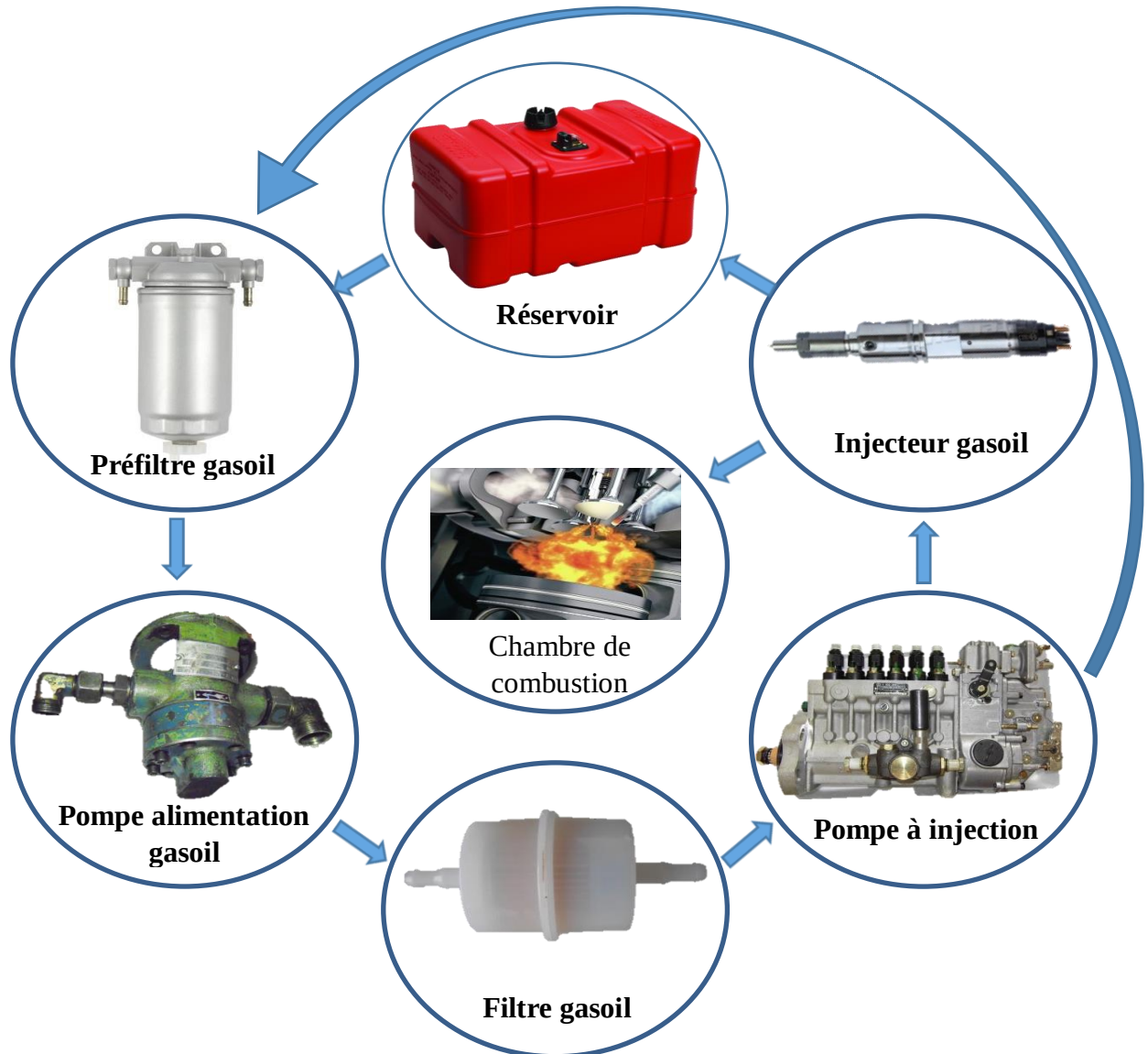


Figure I.56 : Circuit d'alimentation en combustible du moteur diesel.

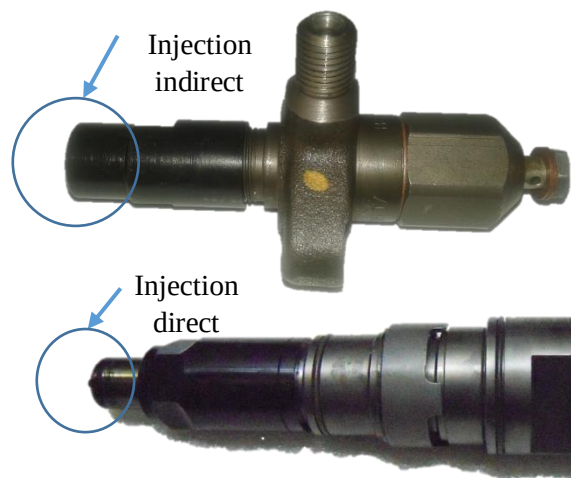


Figure I.57 : Forme d'injecteur selon type d'injection.

I.10.2. Systèmes d'injection

Depuis le premier moteur diesel jusqu'à nos jours les systèmes d'injection varient selon les besoins d'augmentation de puissance et de diminution de consommation en combustible. Les deux principaux types d'injection utilisés par les moteurs Diesel sont :

I.10.2.1. Moteurs à injection indirecte

L'application du moteur diesel privilégie souvent le silence de fonctionnement au détriment d'une légère surconsommation. Pour satisfaire à ces conditions, les moteurs diesels montés sur les voitures par exemple étaient, jusqu'à un passé récent, de type à chambre divisée (injection indirecte). Le terme indirect vient donc du fait que la combustion ne s'amorce pas au-dessus du piston mais dans une chambre annexe. Deux techniques sont utilisées afin de parvenir à l'injection indirecte : les préchambres (1) et les chambres de turbulence (2) (Figure I.58).

La figure I.58 montre les différentes dispositions des préchambres de combustion.

Dans ces deux cas, la combustion se déroule dans deux volumes séparés : une chambre, représentant 30 à 60% du volume total, qui reçoit l'injection du carburant et où s'amorce la combustion, et une chambre principale dans laquelle elle s'achève. L'injection du carburant dans ce petit volume relativement chaud permet de réduire le délai d'allumage du combustible. Seule une quantité minimum de combustible nécessaire à l'amorçage de la combustion s'enflamme, le reste se trouve chassé de la préchambre par l'augmentation de pression et la combustion se poursuit dans la chambre principale. Ce type de moteur est équipé avec des bougies de préchauffage qui se situent dans la chambre de précombustion, leur rôle est de chauffer la chambre de précombustion pour faciliter la combustion du gasoil.

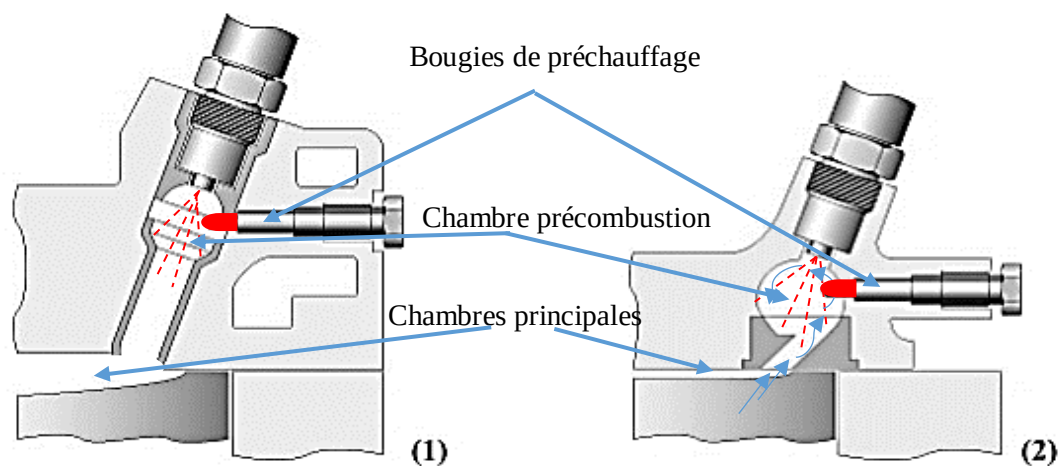


Figure I.58 : Technique d'injection indirect [42].

Les moteurs à injection indirecte remplissent les conditions requises pour leur application à l'automobile, à savoir un relatif silence de fonctionnement et un faible taux d'émissions de NO_x . Leurs inconvénients qu'ils fument dans les régimes transitoires à l'accélération et qu'ils consomment plus de combustible. Leur pression d'injection est d'environ 130 bars. Ils sont équipés d'une pompe à injection rotative HP (haute pression) manuelle (et d'une électrovanne (partie électronique) qui distribue le carburant successivement à chaque cylindre en ouvrant les injecteurs les uns après les autres par la pression du gasoil.

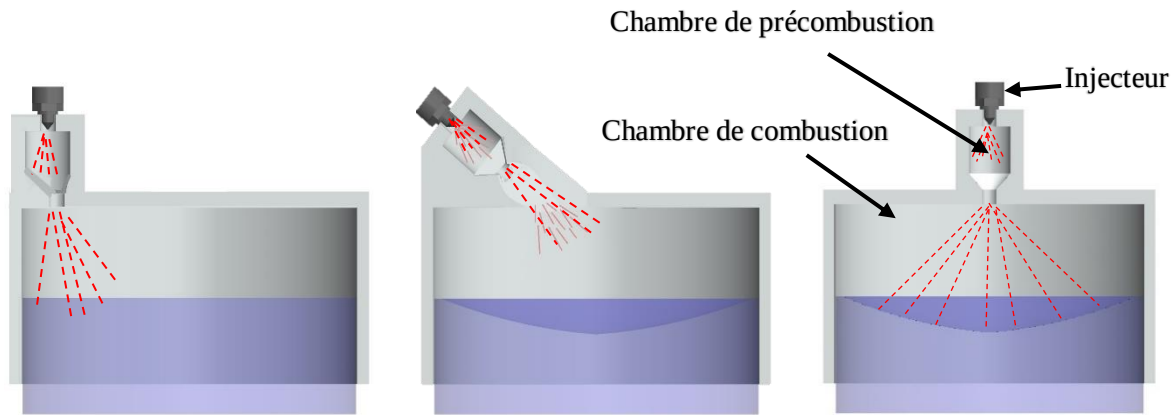


Figure I.59 : Différentes positions de la préchambre de combustion.

Cependant la perte de pression dans le passage de la préchambre à la chambre de combustion limite son rendement. Le second choc pétrolier en 1973 et les normes de dépollution toujours plus sévères ont amené les constructeurs à repenser le moteur diesel en termes d'économie et ont provoqués le passage des nouveaux moteurs à l'injection directe [42].

I.10.2.2. Moteurs à injection directe

Le claquement des moteurs diesels provient du délai d'auto-inflammation du gasoil. En effet, lors d'une injection, le gasoil ne s'enflamme pas dès son entrée dans le cylindre, mais après un délai dépendant de divers facteurs comme la température du carburant et de l'air, de la pression en fin de compression ou de la finesse de l'injection. S'il n'y a qu'une seule injection, une grosse quantité sera déjà injectée quand le gas-oil s'enflammera, d'où un bruit élevé particulièrement lorsque le moteur est froid. La solution est alors de créer une première injection d'une infime quantité de carburant pour amorcer la combustion, ce qui ne va générer qu'un faible bruit. Ensuite, la quantité nécessaire est injectée pour que le moteur délivre la puissance voulue. Cette première injection est appelée injection pilote. Elle dure quelques dizaines de micro secondes et la quantité injectée est de l'ordre de 1 à 2 mm³ (une injection moyenne est de 30 mm³). Leurs avantages qu'ils sont increvables, consomment moins, très fiables, moins de ruptures des joints de culasses. Leurs inconvénients qu'ils sont "assez bruyants », on les reconnaît à leur claquement particulier lié à la pression d'injection plus élevée (d'ordre 180 à 250 bars) [42] et ils auraient eu du mal à remplir les conditions des lois antipollution futures (surtout les modèles sans turbo).

De même que les moteurs à injection indirecte, les moteurs à injection directe sont équipés d'une pompe à injection rotative HP manuelle (avec des éléments électroniques et parfois même un calculateur). La pompe à injection distribue le carburant successivement à chaque cylindre en ouvrant les injecteurs les uns après les autres par la pression du gasoil mais là l'injecteur injecte directement dans le cylindre. Ces moteurs ne sont pas (en général) équipés de bougies de préchauffage, il n'est pas nécessaire de préchauffer le moteur pour démarrer.

Il est à noter que le moteur à injection directe s'impose par son rendement supérieur à ceux des moteurs à injection indirecte. En effet, le rapport entre la surface et le volume de la chambre de combustion est nettement plus faible pour un moteur à chambre à espace mort unique (injection directe) que pour un moteur à préchambre (injection indirecte) ; de plus, la durée de

la combustion est plus courte dans un moteur à injection directe. Ces deux paramètres diminuent les échanges thermiques entre la chambre de combustion et le système de refroidissement, facteur de perte de rendement. Les problèmes liés à l'injection directe sont de deux ordres : bruits de combustion et émission d'oxyde d'azote (NO_x).

Aujourd'hui, trois technologies d'injection directe sont utilisées par les moteurs diesels :

- **L'injection classique ;**
- **Le Common rail ;**
- **L'injecteur pompe.**

Le Common rail et l'injecteur pompe sont des technologies qui remplacent progressivement l'injection classique.

I.10.2.3. Type de système d'injection

Comme mentionné précédemment, il existe trois principaux types d'injection dans les moteurs diesel qui évoluent depuis la création du premier moteur diesel jusqu'à nos jours.

- **L'injection directe classique**

L'injection directe classique est celle utilisée depuis le début des moteurs diesels. La pompe d'injection génère la pression d'injection qui ouvrira l'injecteur, des tuyaux conduisent le gasoil sous pression vers les injecteurs, et les injecteurs s'ouvrent à chaque fois qu'ils reçoivent de la pression (Figure I.61).

La conception des pompes d'injection utilisées dans l'automobile était au début à pistons en ligne. Cette conception est encore utilisée dans le poids lourd.

Depuis un peu plus de 15 ans, ce type de pompe a été remplacé par la pompe rotative (Figure I.60), moins volumineuse. La pression des dernières pompes, telle que la VP 44 à pistons radiaux de Bosch, montent à 1800 bars au niveau de la pompe et de près de 2 000 bars [44] au niveau des injecteurs.



Figure I.60 : Pompe à injection rotatif moteur VW D1600 (Laboratoire moteur, université de M'Sila).

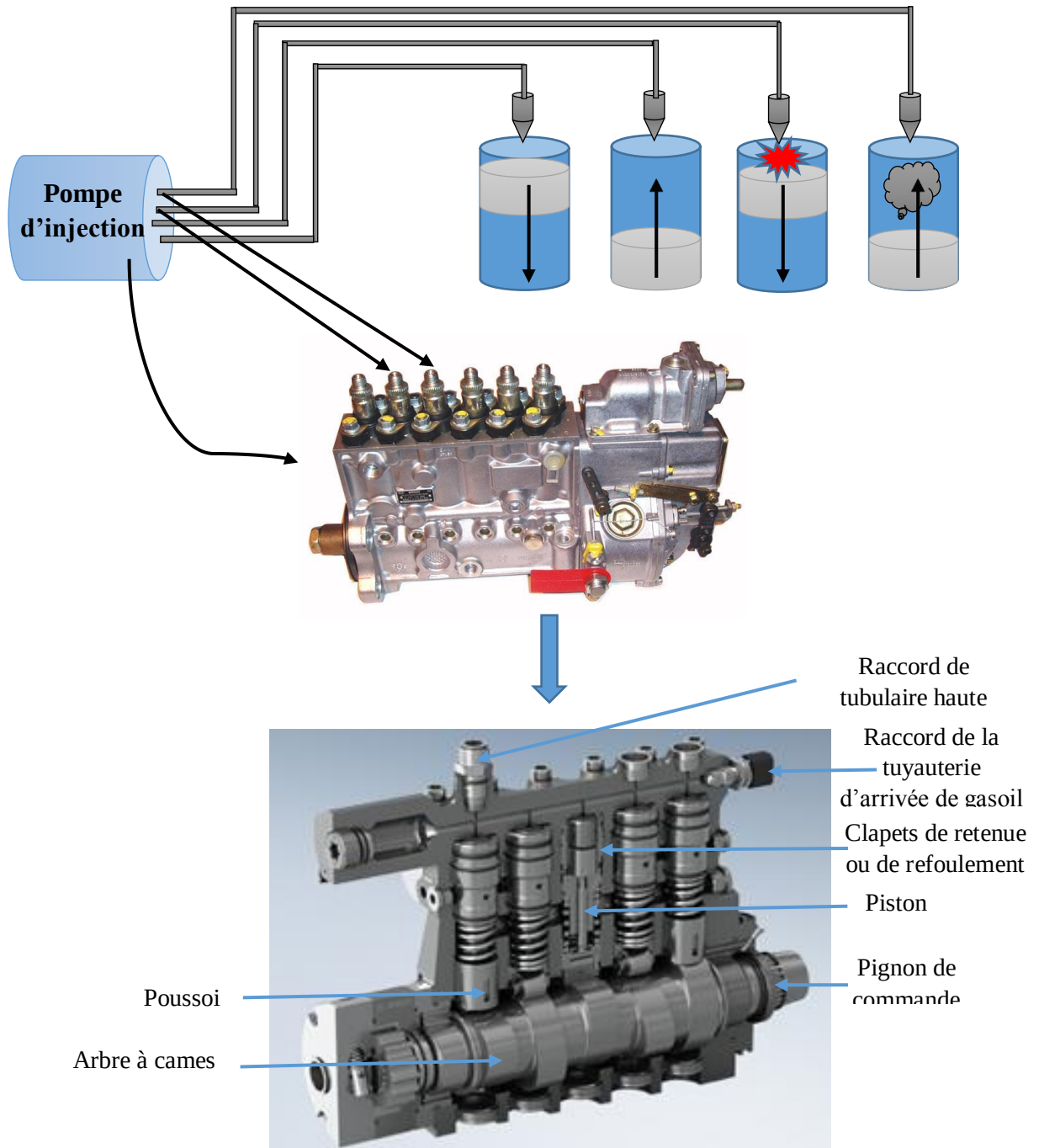


Figure I.61: Système d'injection classique [43].

L'apparition de la régulation électronique dans les systèmes d'injection a permis de stabiliser et d'affiner les réglages de base, tant au niveau du moment d'injection que du débit de combustible. Ces différents systèmes d'injection mécaniques par pompe distributrice, régulés ou non de manière électronique, présentent comme caractéristique commune la variation de la pression d'injection en fonction de la vitesse de rotation du moteur. Cette variation de pression d'injection rend difficile une maîtrise totale de la combustion. Le système d'injection à rampe commune s'affranchit de cette contrainte. Il convient alors de s'étendre sur ce système aussi appelé Common Rail car représentatif des innovations actuellement présentes sur nos moteurs diesels.

- **Injection haute pression à rampe commune**

Contrairement aux systèmes à pompe distributrice, le système d'injection haute pression à rampe commune permet, avec sa rampe d'accumulation, de maintenir constante la pression quel que soit la vitesse du moteur et la quantité de carburant injectée (Figure I.62).

Cette fois, la pompe injecte le carburant dans une rampe commune à tous les injecteurs. La quantité de combustible injectée peut être fractionnée pour réaliser une pré-injection, ce qui permet de réduire les bruits de combustion et la formation de NO_x . Cette faible quantité de carburant ($1 \text{ à } 4 \text{ mm}^3$) permet de préparer, par une augmentation de la température et de la pression dans la chambre de combustion, l'inflammation du combustible lors de l'injection principale. Sur chaque injecteur il y a une électrovanne contrôlée par le boîtier électronique qui commande le temps d'ouverture de celui-ci. La pression dans la rampe atteint 1350 bars, quel que soit le régime moteur [42].

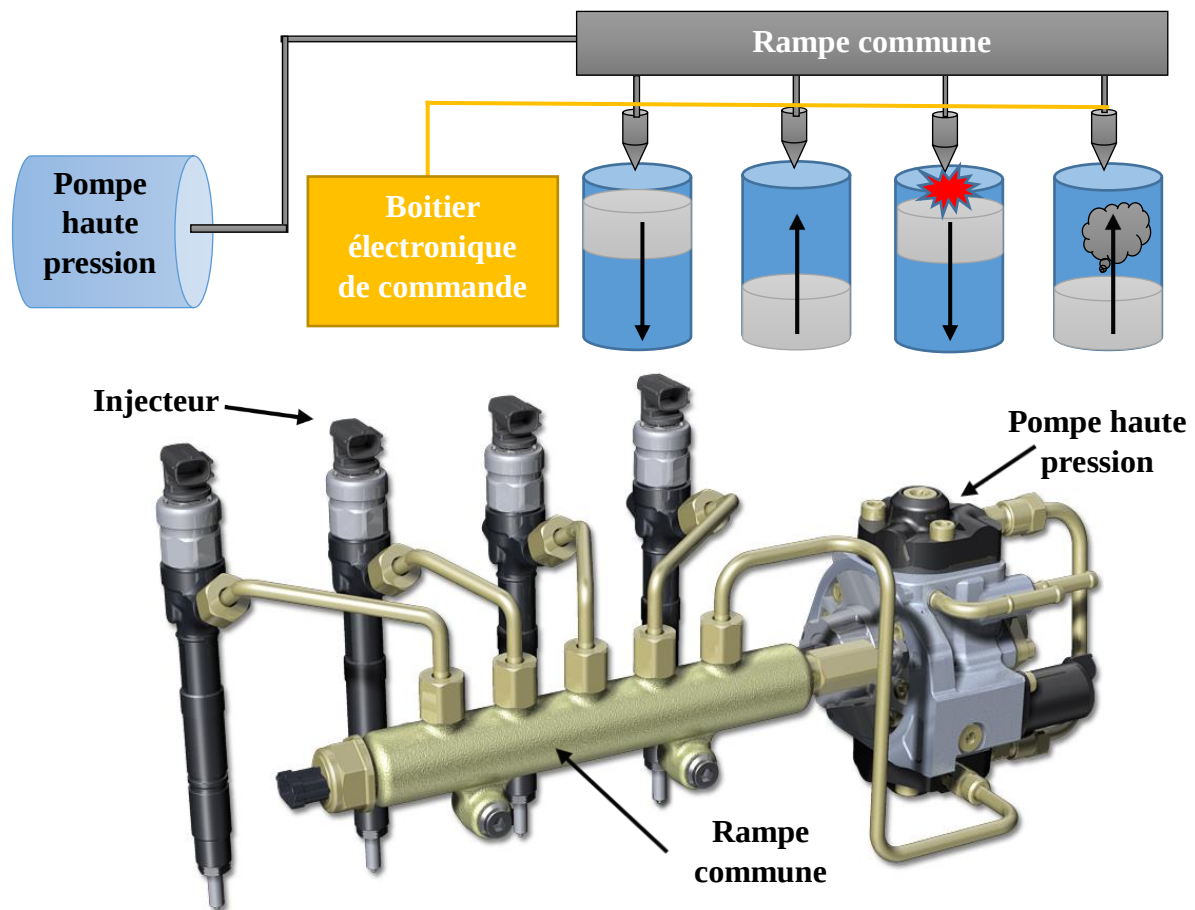


Figure I.62 : Système d'injection rampe commune [45].

Grâce à ce système, le moteur devient plus souple et surtout pollue moins : plus la pression est forte, plus l'injecteur vaporise le carburant et meilleur est le rendement. Le gasoil est ainsi pulvérisé sous forme de très fines gouttelettes. Après la combustion, il ne reste que très peu d'impuretés imbrûlées. De plus, il est possible de contrôler une postcombustion qui permet de brûler les particules qui n'ont pas brûlées lors de l'explosion.

- **Injecteur pompe**

Cette technique est née du Docteur Karl Heinz Neumann, responsable de la division développement des organes mécaniques de Volkswagen installé sur la première voiture en 1998. L'injecteur pompe, constitue la troisième évolution de l'injection directe haute pression. C'est, bien entendu, avec l'aide de l'équipementier Bosch que cette solution a été développée, comme d'ailleurs la majorité des techniques « Common-rail » puisque Bosch détient la quasi-totalité du marché de cette technique aujourd'hui [45].

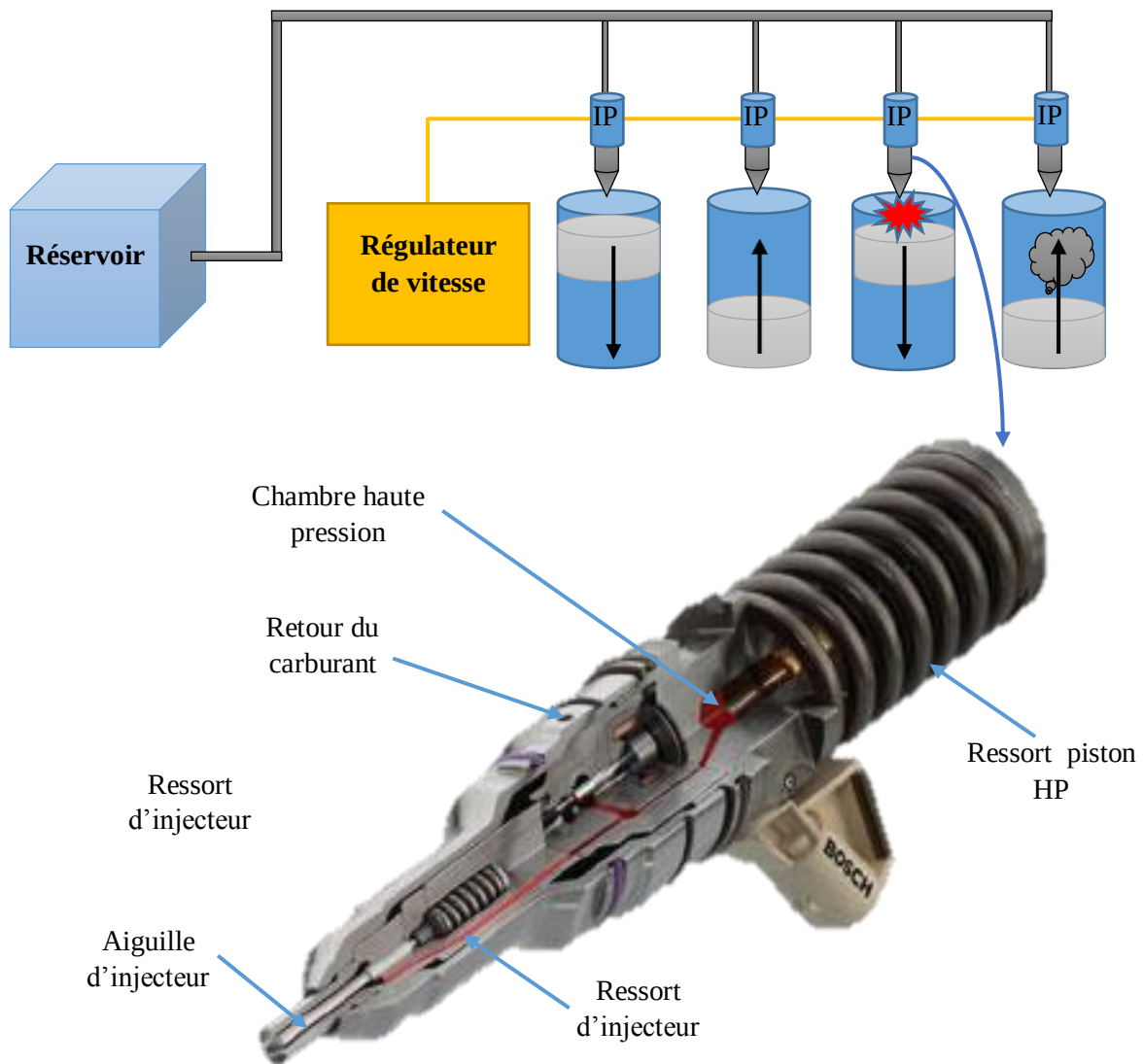
L'injecteur pompe, comme son appellation l'indique, assure au sein du corps d'injection les fonctions de pompe et d'injecteur. Cet élément est donc autonome et est indépendant pour chaque cylindre.

La partie pompe est placée au-dessus de l'injecteur qui se situe dans la culasse. Les tuyauteries sont de ce fait supprimées et la haute pression est produite uniquement dans un très petit volume.

L'injecteur pompe permet de très hautes pressions, de l'ordre de 2000 bars. L'élément pompe implanté directement au-dessus de l'injecteur est actionné par une came supplémentaire rapportée sur l'arbre à cames par l'intermédiaire d'un "culbuteur" à galet tourillonnant sur un axe spécifique. Ce culbuteur agit sur un petit piston (dit "plongeur") (Figure I.63). Lorsque qu'il descend, la haute pression est obtenue à une vitesse extrêmement rapide de par la forme particulière de sa came de commande afin de fournir la haute pression maximum désirée. Un ressort de "rappel" ramène le piston à sa position initiale. L'injecteur pompe comporte une électrovanne intégrée qui pilote la courbe d'injection. C'est ainsi que la montée en pression dans la chambre sous le piston est contrôlée par cette électrovanne, elle ne peut en effet, se constituer dans la chambre que si l'électrovanne est fermée électriquement. Son ouverture quasi instantanée provoque la coupure nette de l'injection favorisant une combustion complète et propre.

Le principal avantage de cette technique est la pression d'injection qui atteint 2050 bars. Cette haute pression permet d'injecter plus finement les gouttelettes de gasoil et donc d'améliorer la combustion. Il est à noter que cette pression n'est atteinte qu'au régime le plus élevé et qu'elle n'est malheureusement que de 400 bars à faible régime. L'ouverture des injecteurs peut être aussi commandée par des crémayers (commande mécanique).

Cette technologie, si elle est plus bruyante que le système commun rail, semble donner de meilleurs résultats en terme de consommation [42].



. Figure I.63 : Injecteur pompe [46].

I.11. Etude thermodynamique du moteur Diesel

Le moteur diesel à combustion interne fonctionne par allumage spontané du gasoil injecté dans l'air préalablement comprimé, sous pression élevée. Cette forte compression appliquée à l'air seul ne présente aucun risque d'inflammation.

Pour les moteurs diesels à quatre temps, un cycle s'effectue sur deux (02) tours du vilebrequin, soit 720° . Le cycle mécanique (deux (02) allers et deux (02) retours c'est-à-dire quatre (04) courses) se fait en quatre (04) temps alors que le cycle thermodynamique en comporte cinq (05) (la combustion à volume et à pression constants). Seule la détente est motrice (fournit de l'énergie), les autres temps sont résistants.

I.11.1. Cycle théorique du moteur diesel

1^{er} temps : admission

L'air seul est admis dans le cylindre par la dépression créée par la descente du piston ou par un turbocompresseur.

2^e temps : compression

Le piston comprime l'air de façon adiabatique. La température s'élève jusqu'à 600 °C et la pression peut atteindre 20 à 25 bars [4].

3^e temps : Explosion-détente

Quand le volume est minimal, le combustible est injecté finement pulvérisé. Il s'enflamme spontanément et continue de brûler pendant que le piston commence à descendre. La pression se maintient à sa valeur maximale malgré l'augmentation de volume. Après l'inflammation la détente se poursuit de façon isentropique.

4^e temps : Echappement

Le piston se déplace en chassant à volume constant les produits de combustion jusqu'au moment où il revient au point de départ du cycle. Ce cycle se compose de deux transformations isentropiques d'une transformation isobare et d'une transformation isochore. Ce cycle dépend de deux paramètres.

Ces différents temps sont représentés sur la figure I.64.

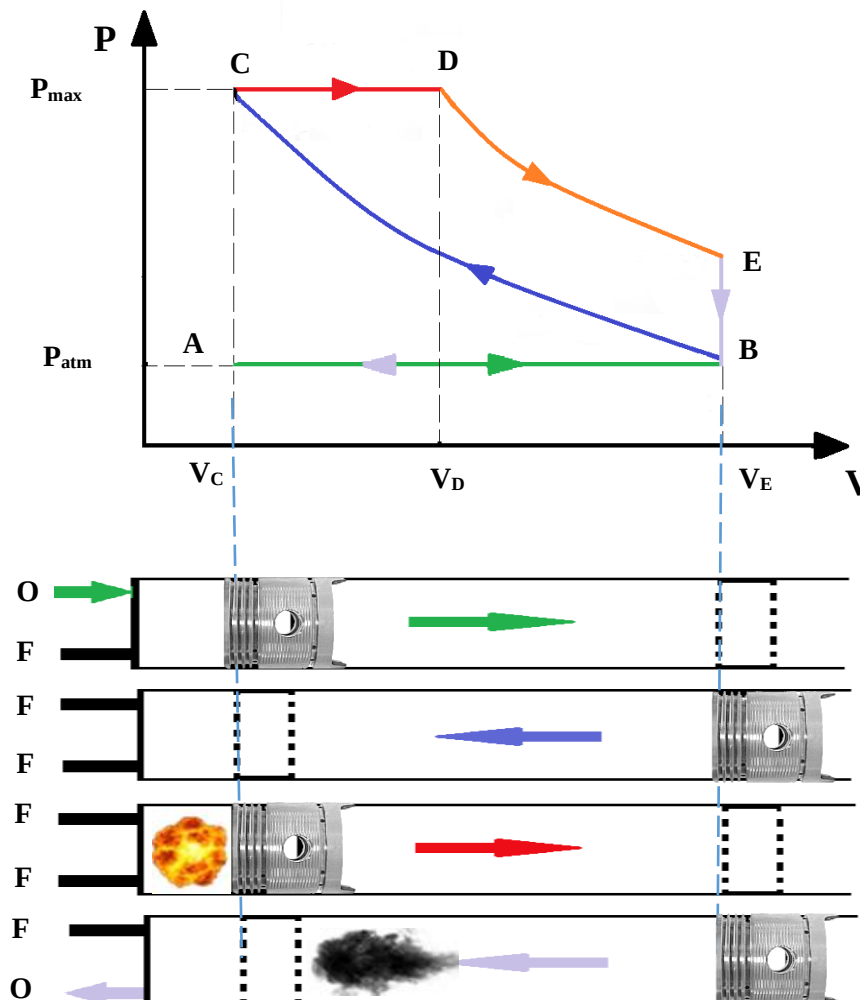


Figure I.64 : Cycle théorique moteur diesel à quatre temps.

- **Calcul thermodynamique du cycle théorique**

Le rendement thermodynamique dans notre cycle est le rapport entre le travail utile et la quantité de chaleur fournie lors de phase de combustion, voila les principales étapes pour calculer le rendement du cycle diesel.

Noté que :

$\tau = V_B/V_A$: Le rapport volumétrique de compression.

$\varepsilon = V_D/V_C$: Le rapport des volumes dans la combustion.

$\gamma = C_p/C_v$: rapport entre capacité calorifique à pression constante et à volume constante.

- ✓ **Calcul des travaux**

$$W_{BC} = C_v T_B (\tau^{\gamma-1} - 1) \quad (\text{II.9})$$

$$W_{CD} = C_v (\gamma - 1) T_B \tau^{\gamma-1} (1 - \varepsilon) \quad (\text{II.10})$$

$$W_{DE} = C_v T_B (\varepsilon^\gamma - \tau^{\gamma-1} \varepsilon) \quad (\text{II.11})$$

$$W_{tot} = W_{BC} + W_{CD} + W_{DE} = W_{tot} = C_v T_B [\gamma \tau^{\gamma-1} (1 - \varepsilon) + \varepsilon^\gamma - 1] \quad (\text{II.12})$$

- ✓ **Calcul du rendement**

$$Q_{CD} = \gamma C_v (T_B \tau^{\gamma-1} \varepsilon - T_B \tau^{\gamma-1}) = \gamma C_v T_B \tau^{\gamma-1} (\varepsilon - 1) \quad (\text{II.13})$$

$$\eta = -\frac{W_{tot}}{Q_{CD}} = \frac{C_v T_B [\gamma \tau^{\gamma-1} (1 - \varepsilon) + \varepsilon^\gamma - 1]}{\gamma C_v T_B \tau^{\gamma-1} (\varepsilon - 1)} = 1 - \frac{1}{\gamma \tau^{\gamma-1}} \frac{\varepsilon^\gamma - 1}{\varepsilon - 1} \quad (\text{II.14})$$

I.11.2. Cycle réel diesel

Pour obtenir un fonctionnement correct du moteur diesel les modifications suivantes ont été apportées au cycle théorique (Figure I.65).

- **1° Avance ouverture admission (AOA)**

Pour permettre une meilleure évacuation des gaz brûlés, on donne de l'avance à l'ouverture de (la ou les) soupape(s) d'admission, de façon à ce que l'air aspiré dans le cylindre chasse les gaz brûlés.

- **2° retard fermeture admission (RFA)**

On donne du retard à la fermeture de (la ou les) soupape(s) d'admission pour obtenir un meilleur remplissage. En effet, l'air ayant acquis une certaine vitesse durant la course descendante du piston, continue de pénétrer dans le cylindre pendant le temps mort du piston au PMB.

- **3° Avance ouverture échappement (AOE)**

A la fin du cycle de détente, il est bon d'avoir de l'avance à l'ouverture de (la ou les) soupape(s) d'échappement pour permettre une bonne évacuation des gaz brûlés.

- 4° Retard fermeture échappement (RFE)

Nous remarquerons que ce retard correspond à quelques degrés près à l'avance à l'ouverture de (la ou les) soupape(s) d'admission. En effet, les gaz frais pénétrant dans le cylindre chassant les gaz brûlés.

- 5° Avance à l'injection (AI)

Comme un certain temps s'écoule entre le début de l'injection et le début de la combustion, représenté par l'angle α sur la figure I.33 (épure de distribution), il faut de l'avance à l'injection pour faire coïncider le début de la combustion avec la position au PMH, c'est pour cette raison que, durant la compression, on injecte le combustible avant que le piston soit exactement au PMH.

Il ne faut pas négliger cette avance, mais ne pas l'exagérer sous peine d'entraîner de graves inconvénients "mal fonctionnement du moteur".

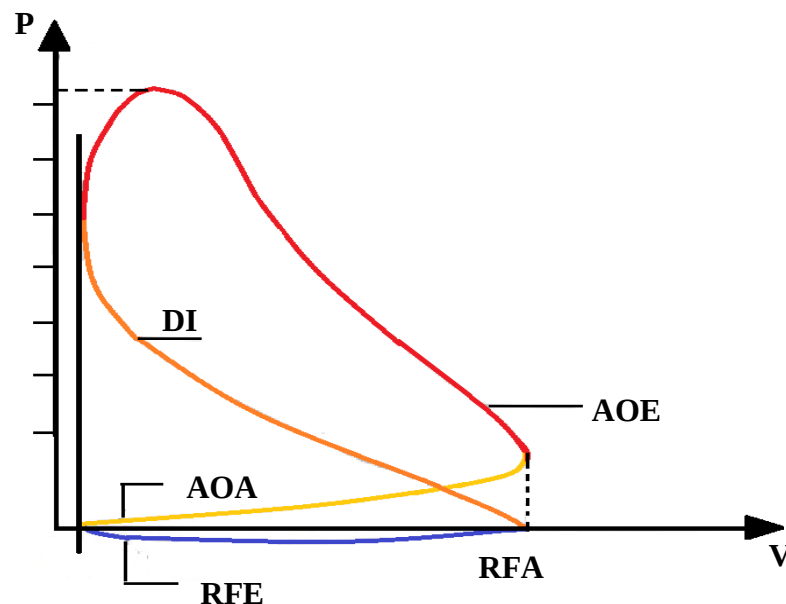


Figure I.65 : Cycle réel moteur diesel à quatre temps.

Conclusion

Les inconvénients des premiers moteurs diesels qui avaient tendance à être plus lourds, plus bruyants et moins puissants n'existent plus sur les moteurs diesels modernes grâce, en particulier, au nouvelle géométrie (moteur en V, moteur en W, ...etc.), au nouveau système d'injection (pompe injecteur et rampe commune), au turbocompresseur qui diminue l'émission de gaz carbonique responsable de l'effet de serre et qui augmente le rendement du moteur.

Avec l'évolution du moteur diesel, ces organes évoluent avec (conception, matériau, ...etc.), pour l'adaptation avec les hautes vitesses des organes mobiles du moteur. Afin d'assurer le bon fonctionnement du moteur de différents systèmes de refroidissement (refroidissement par eau ou air) ont été incorporés selon l'utilisation du moteur. Des nouveaux systèmes d'injection à haute pression jusqu'au 2050 bar par rapport au système d'injection classique entre 130 à 250 bar ont été introduits. Les bruits sont diminués par l'utilisation des systèmes d'injections indirects (chambre précombustion).

Les raisons du succès du moteur diesel tiennent essentiellement à son rendement et son taux de compression (rendement environ 42%) supérieur à celui du moteur à essence (36%) et au fait qu'il consomme moins de carburant.

A decorative border in a light brown color, resembling a scroll. It starts with a small loop at the top right, goes down, then left, then down again, ending in a larger loop at the bottom left.

CHAPITRE II

Maintenance des moteurs diesels

II.1. Introduction

Le laboratoire de l'université Mohamed Boudiaf de M'Sila contient des moteurs diesels et Essence avec des bancs d'essai et certains de ces moteurs (presque tous) ne fonctionnent pas et là où nous allons intervenir et essayer de réparer ces moteurs défectueux pour que les étudiants les exploitent dorénavant.

Ce chapitre traite des généralités sur la maintenance et les différentes étapes de réparation des moteurs diesels existant au niveau du laboratoire moteur à savoir, TD111 et ses bancs d'essai TD114, TD115 et Volkswagen D1600. Mais hors d'habitude, ce chapitre est jointé d'un DVD qui contient des vidéos pour accomplir la compréhension du processus de maintenance (démontage, nettoyage, expertise, réparation, remontage et démarrage) de ces moteurs. Ces Vidéos servent de supports pédagogiques de réalisation de TP pour les promotions à venir.

II.2. Généralités sur la maintenance

II.2.1. Définition

La maintenance est définie selon l'association française de **normalisation (AFNOR)** comme l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé (**définition de la norme NF X 60-010**). Elle a pour but d'augmenter la durée de vie d'un bien.

II.2.2. Méthodes de maintenance

Il existe deux méthodes principales de maintenance [47] :

II.2.2.1. Maintenance corrective

C'est l'ensemble des activités réalisées après la défaillance d'un bien ou la dégradation de sa fonction, pour lui permettre d'accomplir une fonction requise, au moins provisoirement.

- **Les opérations de maintenance corrective**

- ✓ **Le dépannage**, c'est l'action sur un bien en panne, en vue de le remettre en état de fonctionnement. Compte tenu de l'objectif, une action de dépannage peut s'accommoder de résultats provisoires avec des conditions de réalisation hors règles de procédures, le dépannage permet de gagner du temps.
- ✓ **La réparation**, c'est l'intervention définitive et limitée de maintenance corrective après panne ou défaillance. L'application de la réparation peut être décidée soit immédiatement à la suite d'un incident ou d'une défaillance, soit après un dépannage, soit après une visite de maintenance préventive conditionnelle ou systématique.

II.2.2.2 Maintenance préventive

C'est l'ensemble des activités réalisées selon des critères prédéterminés, a pour objet de réduire la probabilité de défaillance ou de dégradation d'un bien ou d'un service rendu. Elle doit permettre d'éviter les défaillances des matériels en cours d'utilisation. Deux types de maintenance appartiennent à la maintenance préventive à savoir, la maintenance systématique et la maintenance conditionnelle.

- **Maintenance préventive systématique**

La maintenance préventive est effectuée selon un échéancier, elle se traduit par l'exécution sur un équipement à dates planifiées et établies selon le temps ou le nombre d'unités d'usage (produites). Même si le temps est l'unité la plus répandue, d'autres unités peuvent être retenues telles que : la quantité de produits fabriqués, la longueur de produits fabriqués, la distance parcourue, la masse de produits fabriqués, le nombre de cycles effectués, etc.

Cette périodicité d'intervention est déterminée à partir de la mise en service ou après une révision complète ou partielle.

- **Maintenance préventive conditionnelle**

La maintenance conditionnelle se traduit par une surveillance des points sensibles de l'équipement, exercée au cours de visites préventives.

- **Les opérations de maintenance préventive**

- ✓ **Les inspections**, activités de surveillance consistant à relever périodiquement des anomalies et exécuter des réglages simples ne nécessitant pas d'outillage spécifique, ni d'arrêt de l'outil de production ou des équipements.

- ✓ **Les visites**, opérations de surveillance qui, dans le cadre de la maintenance préventive systématique, s'opèrent selon une périodicité déterminée. Ces interventions correspondent à une liste d'opérations définies préalablement qui peuvent entraîner des démontages d'organes et une immobilisation du matériel. Une visite peut entraîner une action de maintenance corrective.

- ✓ **Les contrôles** : vérifications de conformité par rapport à des données préétablies suivies d'un jugement. Le contrôle peut :

- Comporter une activité d'information ;
- Inclure une décision : acceptation, rejet, ajournement ;
- Déboucher comme les visites sur des opérations de maintenance corrective.

II.2.3. Niveaux de maintenance

Les niveaux de maintenance sont définis en fonction de la complexité des travaux. L'AFNOR identifie cinq (05) niveaux de maintenance dont on précise le service :

- **NIVEAU 1**

Réglage simple prévu par le constructeur ou le service de maintenance, au moyen d'éléments accessibles sans aucun démontage ou ouverture de l'équipement. Ces interventions peuvent être réalisées par l'utilisateur ou l'exploitant sans outillage particulier à partir des instructions d'utilisation par exemple changement des voyants ou certains fusibles...etc.

- **NIVEAU 2**

Dépannage par échange standard des éléments prévus à cet effet et d'opération mineure de maintenance préventive, ces interventions peuvent être réalisées par un technicien habilité ou l'utilisateur de l'équipement dont la mesure où ils ont reçu une formation particulière, par exemple : graissage ou vidange huile de lubrification...etc.

- **NIVEAU 3**

Identification et diagnostic de panne suivis éventuellement d'échange de constituant, de réglage et de d'étalonnage général. Ces interventions peuvent être réalisées par technicien spécialisé sur place ou dans un local de maintenance à l'aide de l'outillage prévu dans des instructions de maintenance.

- **NIVEAU 4**

Travaux importants de maintenance corrective ou préventive à l'exception de la rénovation et de la reconstruction. Ces interventions peuvent être réalisées par une équipe disposant d'un encadrement technique très spécialisé et des moyens importants adaptés à la nature de l'intervention.

- **NIVEAU 5**

Travaux de rénovation, de reconstruction ou de réparation importante confiés à un atelier central de maintenance ou une entreprise extérieure prestataire de service.

L'organigramme suivant (Figure II.1) regroupe les différents types de maintenance d'un bien.

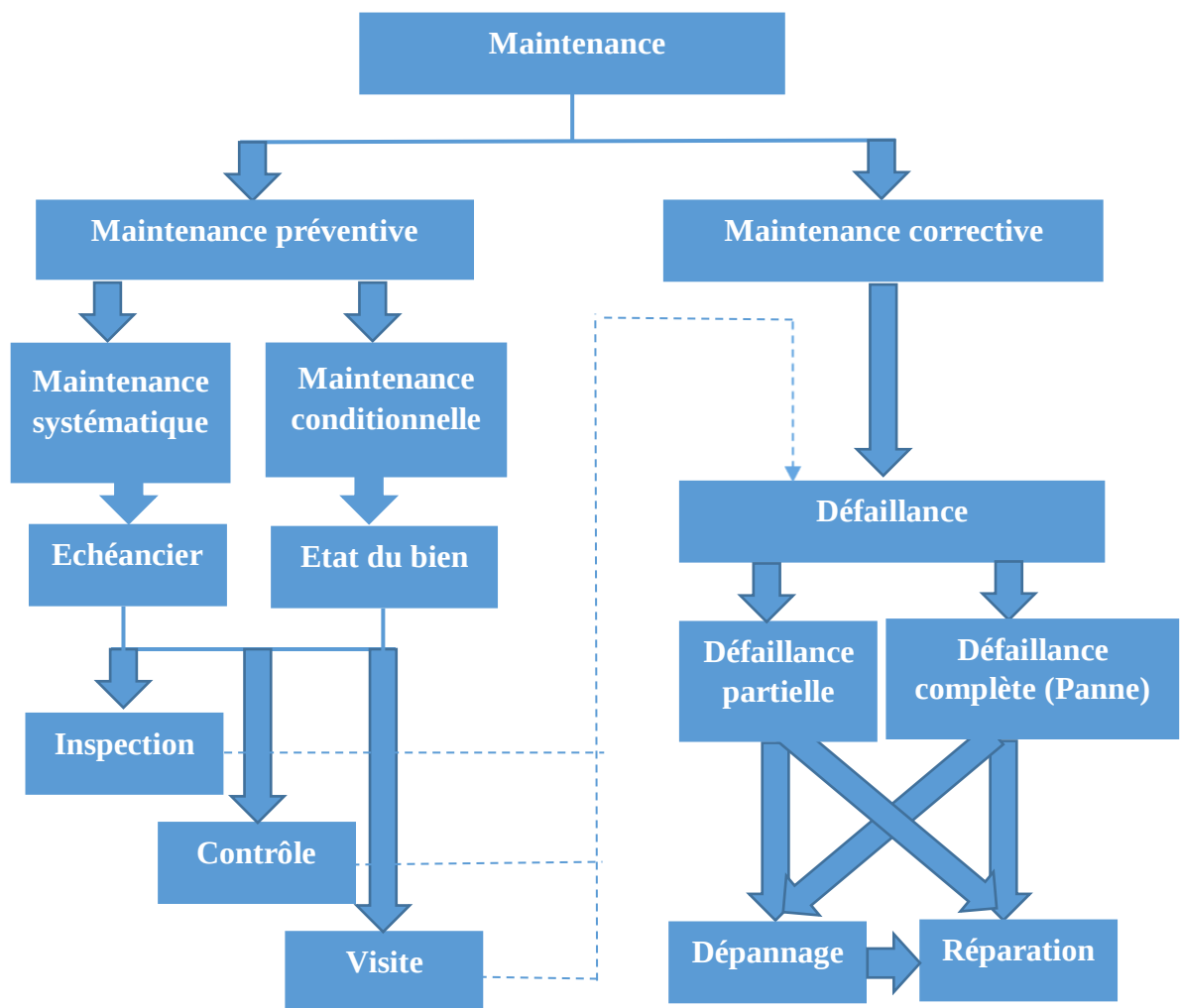


Figure II.1 : Organigramme de la maintenance d'un bien.

II.3. Vue sur le laboratoire des moteurs de l'université Med Boudiaf de M'Sila

L'université Mohamed Boudiaf de M'Sila contient un laboratoire de moteurs à combustion interne depuis la création du département de génie mécanique en 1985. Ce laboratoire contribue à la bonne formation (manipulations pratiques) des étudiants : Ces derniers peuvent voir les différents composants des moteurs et peuvent aussi déterminer leurs caractéristiques de fonctionnements à l'aide des bancs d'essai spécifiques. Le laboratoire contient plusieurs prototypes qui aident les étudiants à comprendre le principe de fonctionnement des moteurs.

Le laboratoire en question contient des moteurs Diesels et Essence avec des bancs d'essai et certains de ces moteurs (presque tous) ne fonctionnent pas et là où nous allons intervenir et essayer de réparer ces moteurs défectueux afin que les étudiants les exploitent dorénavant.

Ce laboratoire dispose de quatre (04) moteurs diesels dont les informations sont regroupées dans le tableau II.1.



Figure II. 2 : Laboratoire des moteurs de l'université de Med Boudiaf de M'Sila.

Tableau II.1 : Moteurs diesels du laboratoire Moteur (Hall technologique).

Nom, référence et photo du moteur	Information sur le moteur
 moteur diesel TD111(référence)	Ce moteur est muni de deux bancs d'essai TD114 et TD115. Non opérationnel actuellement. Destiné pour l'étude thermodynamique grâce à ces capteurs de température, pression, vitesse, consommation et couple Fabrication britannique
 Moteur diesel VW D1600 (HT0014)	Ce moteur est monté sur le banc d'essai (HT0014) constituant une seule unité. Non opérationnel actuellement. Destiné pour l'étude thermodynamique grâce à ces capteurs de température. Fabriquée en Allemagne.
 Moteur diesel VM 1045 SU	Ce moteur n'a pas de banc d'essai Non opérationnel actuellement (moteur neuf) Sans banc d'essai ou unité de mesure. Fabriquée en Italie
 Moteur Diesel VW MP80/6000	Ce moteur est monté sur le banc d'essai (GM1303) constituant une seule unité. Non opérationnel actuellement. Destiné pour l'étude thermodynamique grâce à ces capteurs de température, vitesse, couple, pression et consommation. Fabriquée en Allemagne.

II.4. Maintenance corrective du moteur TD 111 et du banc d'essai TD115 et l'unité de mesure TD114

Le banc d'essais moteur TD115 des moteurs de faible cylindrée et l'unité de mesure TD114, permettent de constituer une installation complète pour l'essai de moteurs à refroidissement à air jusqu'à des puissances de 7,5 kW et 6000 tr/min voir (Figure II.3).

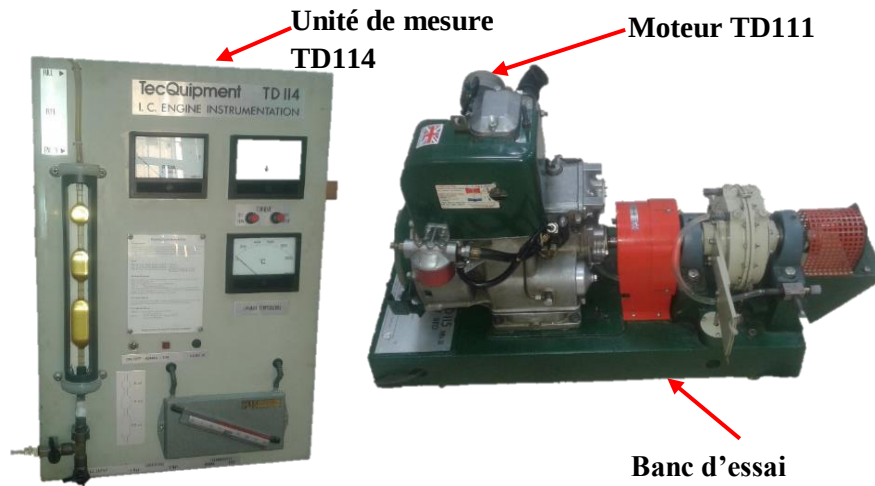


Figure II.3 : Moteur Diesel TD111, unité de mesure TD114 et banc d'essai TD115.

II.4.1. Description du moteur TD111

Le moteur TD111 (Figure II.3) est un moteur diesel à quatre temps, monocylindre avec arbre à came latéral, à refroidissement par air, ayant un système d'injection indirect et démarreur manuellement. Le tableau II.2 montre les caractéristiques du moteur TD111 selon son manuel d'utilisation [48].

Sur la figure II.4, on a porté les différents composants externes du moteur TD111.

Tableau II.2 : Caractéristiques du moteur TD111 [48].

Caractéristiques \ Moteur	Moteur TD111
Constructeur	Petter AA1
Cylindrée, Alésage×Course	219 cm ³ , 70 × 57 mm
Taux de compression	17
Couple maximal	8,2 Nm à 2700 tr/min
Puissance maximale	2,6 kW à 3600 tr/min
Vitesse maximale recommandée	3600 tr/min

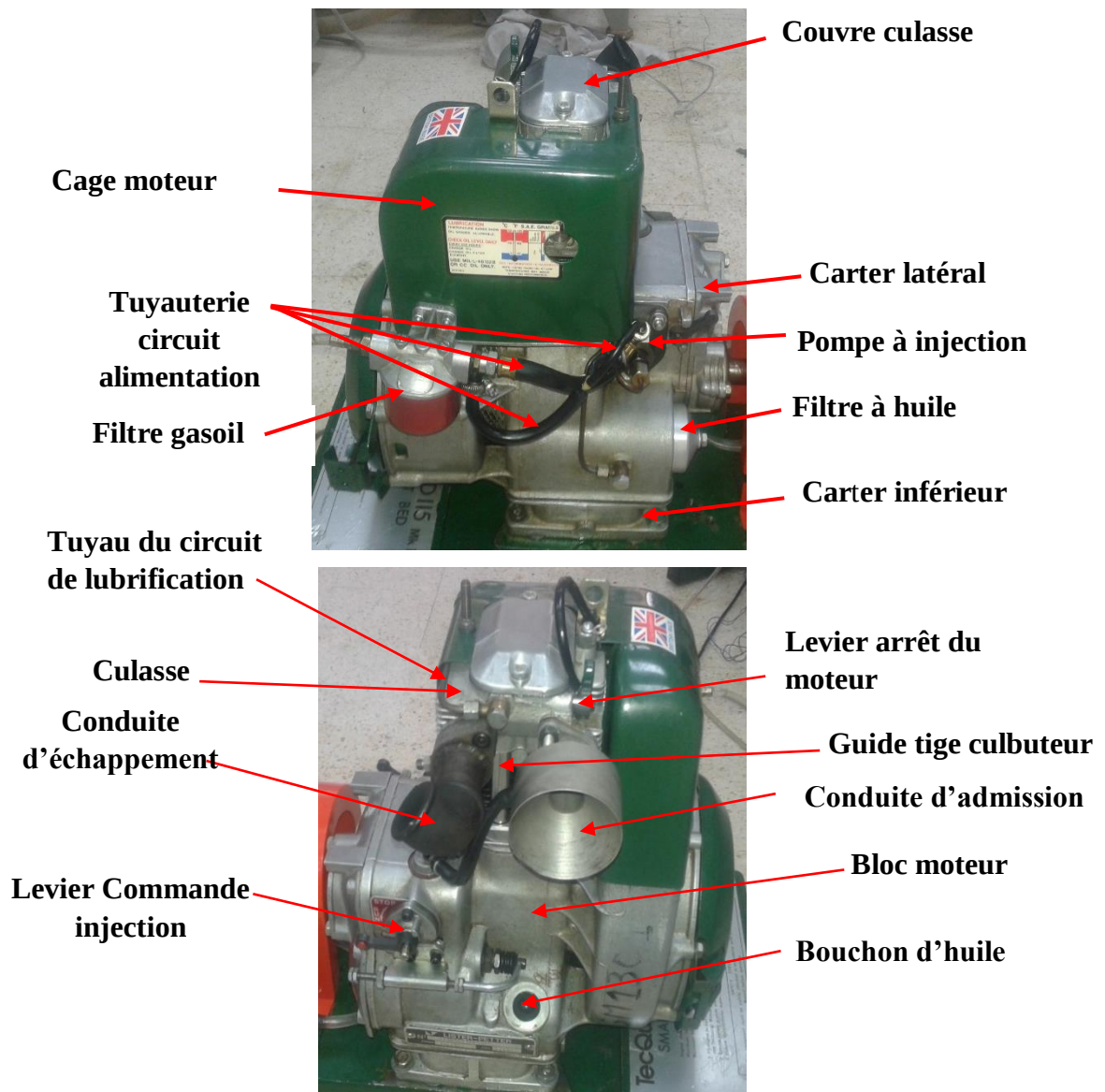


Figure II.4 : Moteur diesel TD111.

II.4.2. Diagnostic moteur

Le diagnostic est le raisonnement menant à l'identification de la cause (l'origine) d'une défaillance, d'un problème.

Notre moteur n'avait pas des problèmes visuels et le vilebrequin tourne librement sans frottements ou bruit et d'après le responsable du laboratoire M. Boucherb le moteur n'a jamais marché depuis son arrivé au laboratoire en 2012, pour cela nous étions obligés de faire le démontage du moteur pour déterminer l'origine de la défaillance et contrôler l'état des pièces du moteur.

II.4.3. Démontage du moteur

Le démontage est le désassemblage de certaines parties du moteur afin de déterminer s'il existe des dommages cachés ou pas.

On a commencé par le démontage des vis de fixation et l'accouplement avec le banc d'essai TD115 afin de libérer le moteur. Puis on l'a posé sur une table en bois dans le but d'éviter le

contact métal-métal qui peut endommager les pièces sensibles du moteur et faciliter le démontage des différentes composantes du moteur une fois libéré de la fixation.

• **Démontage des tuyauteries des circuits d'alimentation et de lubrification**

Une fois que le moteur est sur table, on a procédé en premier, au démontage du filtre gasoil vidé de son contenu (gasoil) puis des tuyauteries des circuits d'alimentation (en gasoil) et de lubrification (en huile). En effet, on a démonté les tuyères suivantes (Figure II.5) :

- ✓ Entre le réservoir et le filtre à gasoil (1) ;
- ✓ Entre le filtre à gasoil et la pompe à injection (2) ;
- ✓ Entre la pompe à injection et l'injecteur (3) ;
- ✓ Retour du gasoil de l'injecteur vers filtre gasoil (4) ;
- ✓ Retour de la pompe à injection vers le filtre à gasoil (5) ;
- ✓ Entre la pompe à huile et la culasse (6) ;
- ✓ Tuyau de reniflard (entre le bloc moteur et le canal d'admission) (7).

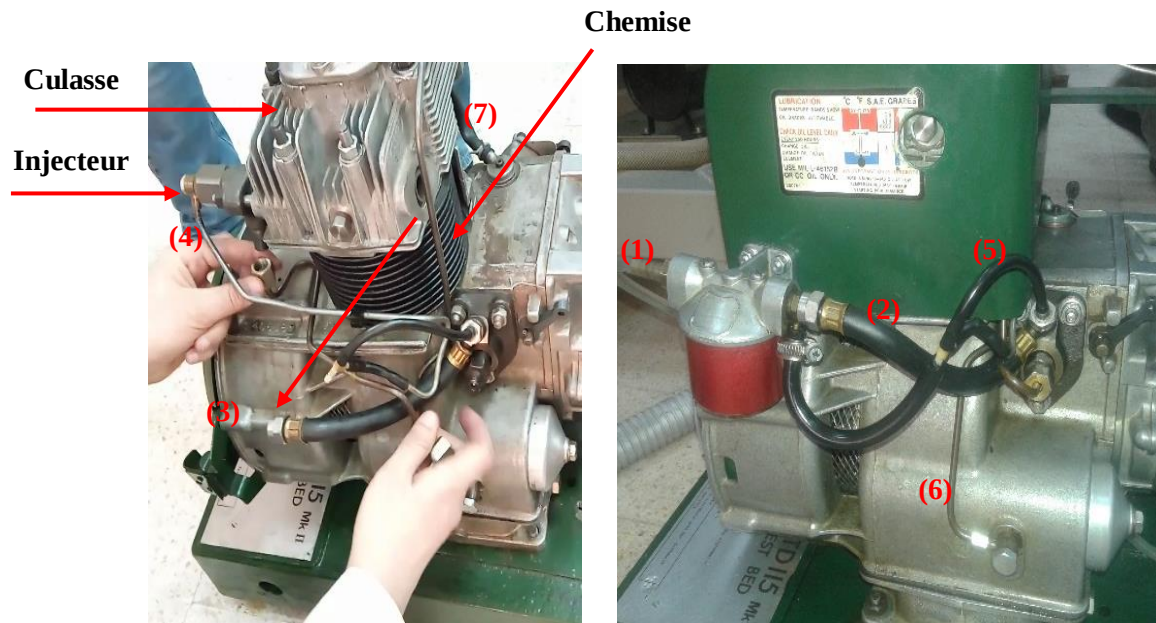


Figure II. 5 : Démontage des tuyauteries du moteur TD111.

• **Vidange du carter d'huile**

En deuxième étape, on a vidé l'huile du carter moteur (dans lequel barbote le vilebrequin) dans un récipient par l'ouverture du bouchon existant dans la partie inférieure du carter (Figure II.6).

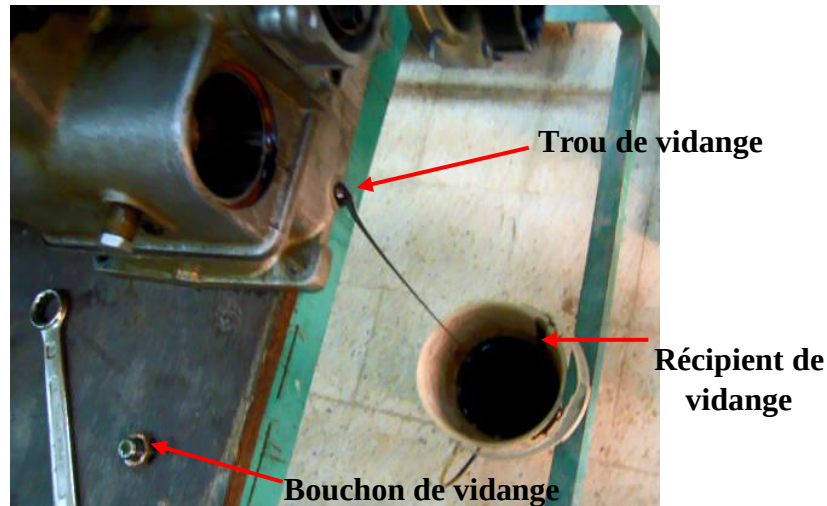


Figure II.6 : Vidange du moteur TD111.

- **Démontage des organes internes du moteur TD111**

Afin d'accéder aux organes internes du moteur, on a commencé par l'enlèvement de la cage d'orientation de l'air de refroidissement de la chemise et de la culasse du moteur ; ensuite on a attaqué l'injecteur (caché par cette dernière) qui est fixé par deux boulons au côté latéral de la culasse (Figure II.7) puis on a démonté la partie supérieure du moteur qui est composée de :

- ✓ Cache culbuteurs (carter supérieur ou couvre culasse) ;
- ✓ Canal d'admission d'air (Figure II.8) ;
- ✓ Canal d'évacuation des gaz brûlés (échappement) (Figure II.8) ;
- ✓ Culbuteurs (d'admission et d'échappement) et le support de fixation des culbuteurs (Figure II.9).

On a procédé aussi à l'enlèvement de :

- ✓ Tiges culbuteurs (Figure II.13) ;
- ✓ Culasse (qui contient les soupapes et les ressorts) (Figure II.10) ;
- ✓ Joint culasse (Figure II.14) ;
- ✓ Chemise (Figure II.11).

Le carter d'huile qui constitue la partie inférieure du moteur a été démonté aussi, il contient un pré filtre à huile Figure (II.12). Afin de libérer l'attelage mobile du moteur (piston-bielle), on a démonté le chapeau de tête de bielle qui se trouve dans la partie inférieure du moteur (Figure II.16 ; Chapeau de tête de bielle), ensuite, on a procédé à :

- ✓ L'enlèvement du filtre à huile (Figure II.4) ;
- ✓ Démontage de l'arbre liant le vilebrequin à l'accouplement (Figure II.15) ;
- ✓ Démontage du carter latéral (cache distribution) (Figure II.15) ;
- ✓ L'enlèvement de la pompe à injection.



Figure II.7 : Démontage de l'injecteur.

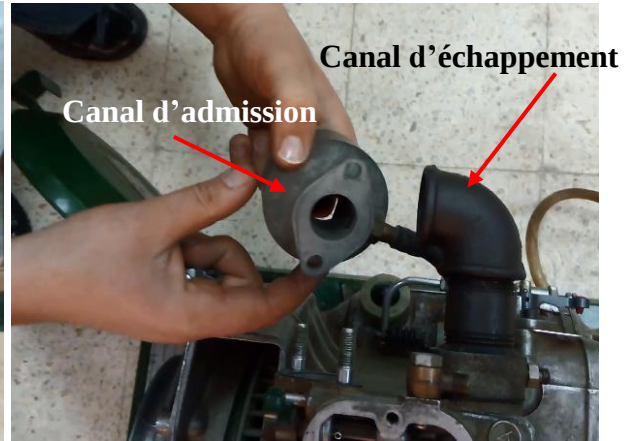


Figure II.8 : Démontage de la conduite d'admission.

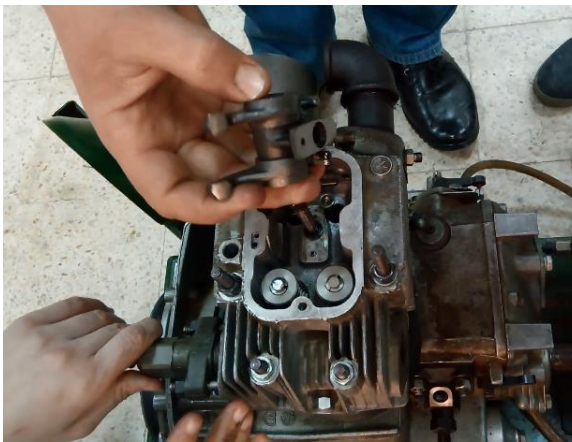


Figure II.9 : Démontage des culbuteurs.



Figure II.10: Démontage de la culasse.



Figure II.11: Démontage de la chemise.

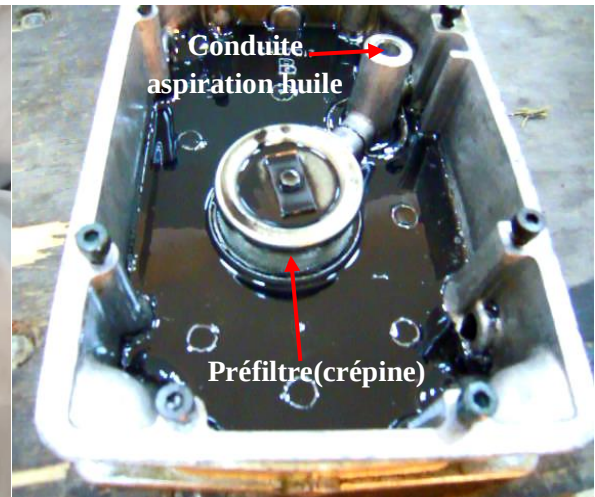


Figure II.12 : Démontage du carter d'huile.

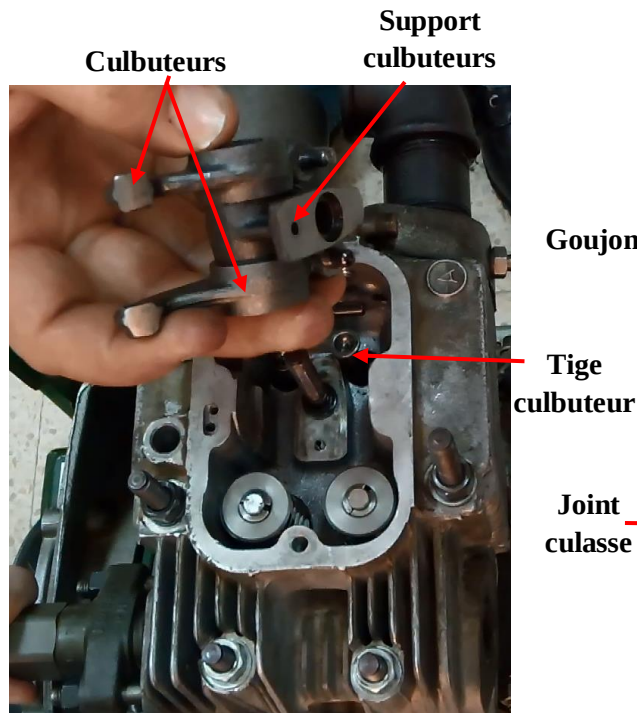


Figure II.13: Démontage des culbuteurs.

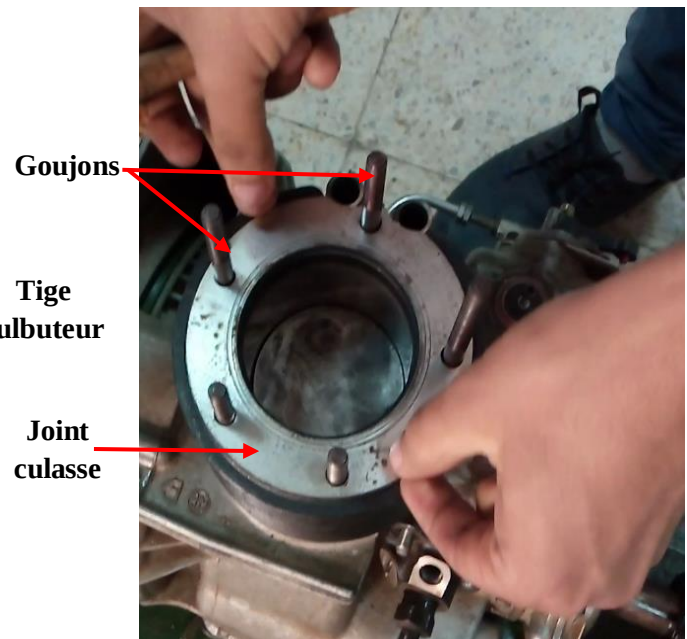


Figure II.14: Démontage de joint culasse.

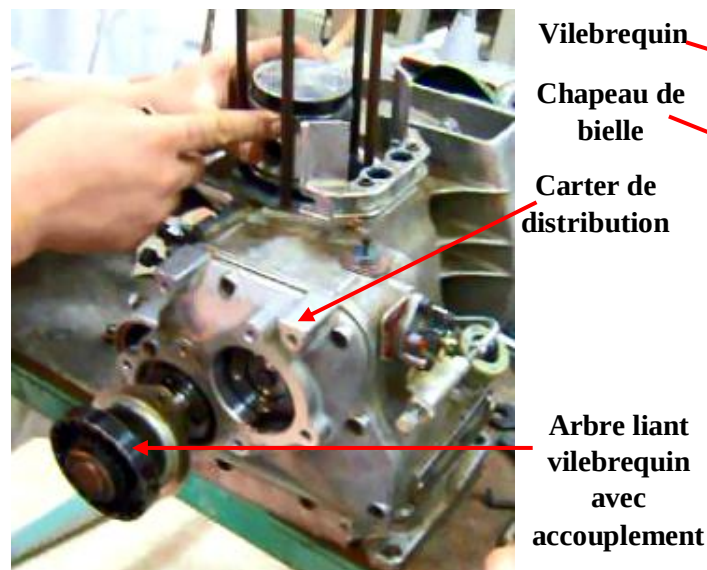


Figure II.15: Démontage arbre liant vilebrequin avec accouplement et carter de distribution

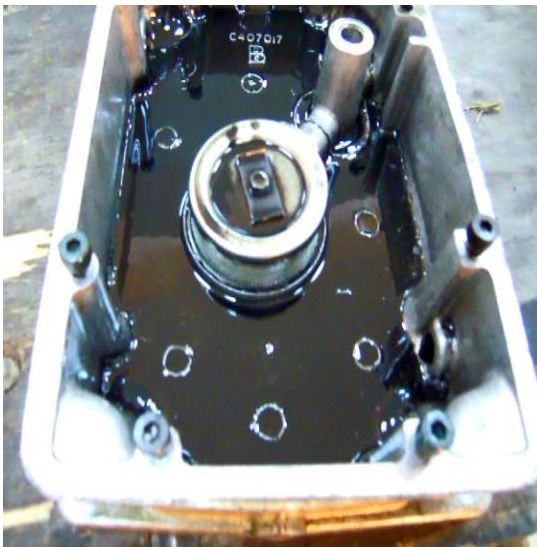


Figure II.16: Démontage de chapeau de bielle puis attelage

II.4.4. Nettoyage des pièces

Pour assurer le contrôle visuel et dimensionnel des pièces du moteur, le nettoyage de tous ses organes est nécessaire. Cette opération est effectuée en utilisant le gasoil (matière de nettoyage) en plus de brosses métalliques, pinceaux, papier de verre (Toile émeri) et des chiffons.

Voici quelques photos avant et après le nettoyage : Figure II.17 :



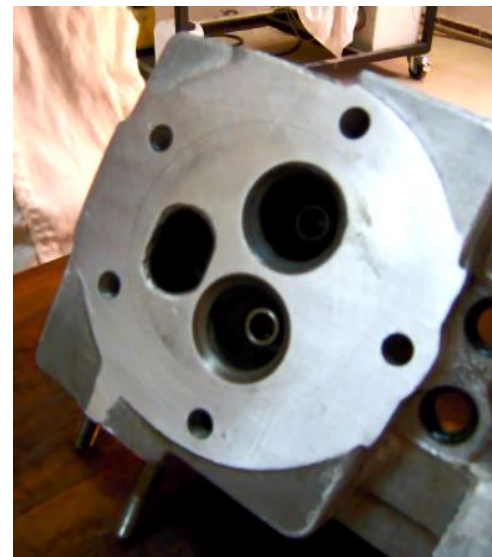
a) Carter (avant nettoyage)



b) Carter (après nettoyage)



c) Culasse (avant nettoyage)



d) Culasse (après nettoyage)



e) Bloc moteur (avant nettoyage)



f) Bloc moteur (après nettoyage)

Figure II.17 : Quelques pièces avant et après nettoyage.

II.4.5. Contrôle et expertise

L'expertise désigne l'examen des pièces en vue de leur estimation, et évaluation. Le contrôle et l'expertise des pièces du moteur sont nécessaires afin de vérifier les jeux entre les pièces en mouvement en vue d'identifier leur usure (Figure II. 18). Pour cela on a utilisé des instruments de mesures dimensionnels pour contrôler les différentes pièces à savoir ; le pied à coulisse, le palmer, jeu de cale ..., etc.

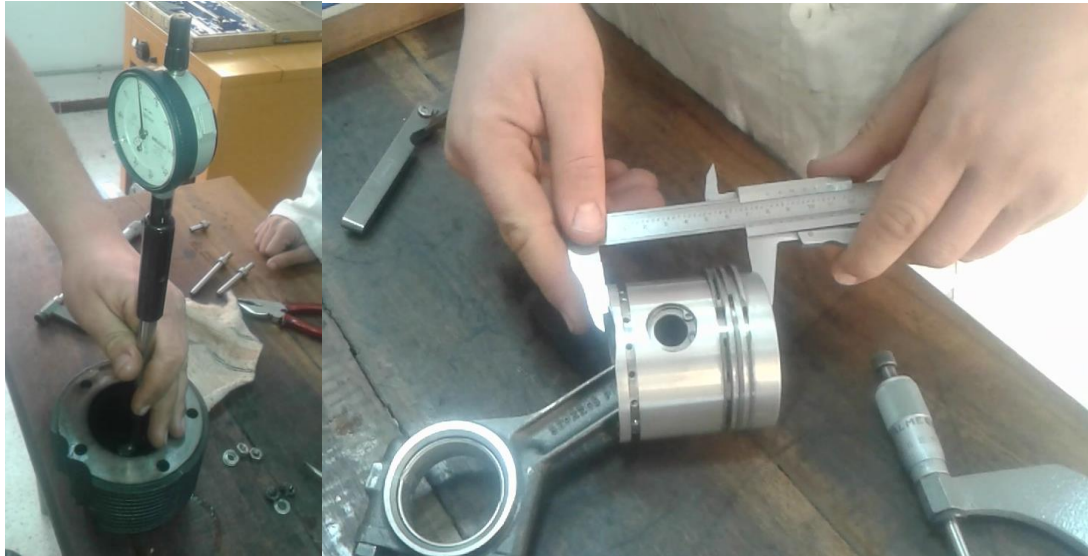


Figure II. 18: Contrôle et expertise de l'attelage mobile et de la chemise.

II.4.5.1. Instruments de mesure

Un instrument de mesure (ou appareil de mesure) est un dispositif destiné à obtenir expérimentalement des valeurs qu'on puisse attribuer à une grandeur. Les principaux instruments de mesure utilisés sont :

a. Pied à coulisse

Un pied à coulisse est un instrument de mesure de longueur, composé essentiellement de deux parties coulissantes (Figure II.19) l'une par rapport à l'autre. Cet instrument est très utilisé en mécanique, il permet de mesurer facilement les cotes extérieures d'une pièce ou le diamètre d'un alésage. Il est également utilisé pour mesurer les diamètres des arbres



Figure II.19 : Pied à coulisse

b. Palmer (micromètre)

Le palmer (Figure II.20) est un instrument de mesure de longueur. Sous sa forme courante, il est très utilisé en mécanique pour mesurer les épaisseurs, les dimensions de portées cylindriques (micromètre d'extérieur) ou les diamètres de perçage ou d'alésage (micromètre d'intérieur).



Figure II.20: Micromètre.

c. Jeu de cale (jauge d'épaisseur)

Une jauge d'épaisseur (Figure II.21) est un outil ou instrument de mesure simple permettant de mesurer, ou plutôt d'estimer, l'espacement entre deux pièces mécaniques, communément appelé jeux.

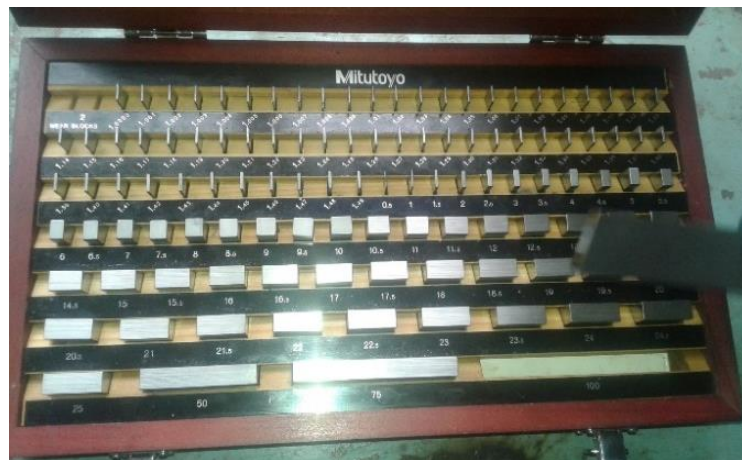


Figure II. 21 : Cale Johnson.

d. Vérificateur d'alésage avec comparateur

Le vérificateur d'alésage avec comparateur est un outil ou instrument de mesure permettant, avec un comparateur une mesure d'alésages rapide et aisée (Figure II. 22)



Figure II.22 : Vérificateur alésage avec comparateur.

II.4.5.2. Expertise du bloc moteur, du vilebrequin et chemise

À cause du manque d'outillage nécessaire pour le démontage du vilebrequin et de l'arbre à cames, on n'a pas pu contrôler les paliers du bloc-moteur et les tourillons du vilebrequin et le même problème persiste lors du contrôle de la soie de l'arbre à cames. On a seulement contrôlé

le maneton de vilebrequin. Les résultats ainsi obtenus suivant les directions XX, YY, ZZ (Figure II.23) sont portés dans le tableau II.3.

Tableau II.3 : Mesure de diamètre du maneton du vilebrequin.

Directions Diamètre	XX	YY	ZZ
Diamètre(mm)	41,3	41,3	41,3

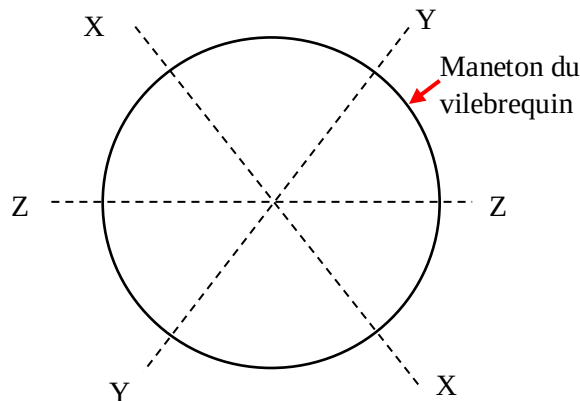


Figure II.23 : Direction de prise de mesure du vilebrequin lors de son expertise

On constate que le diamètre du maneton suivant les trois directions est le même, ce qui signifie que le moteur n'a pas fonctionné, il est encore tout neuf.

Bien que l'alésage de la chemise joue un rôle principal dans le bon fonctionnement du moteur. La vérification de la conicité et de l'ovalisation de la chemise est nécessaire. Pour cela, on doit mesurer le diamètre de la chemise en différents plans horizontaux et suivant deux directions XX, YY (voir la figure II.19). Les résultats obtenus sont portés dans le tableau II.4.

Tableau II.4 : Mesure des diamètres de la chemise suivant trois plans et trois directions.

Directions Plans	XX	YY	Ovalisation (XX-YY)
Plan 1	69.87	69.87	0
Plan 2	69.88	69.88	0
Plan 3	69.88	69.88	0
Conicité (entre les différents plans)	0.01	0.01	

D'après ce tableau, on constate une autre fois que le moteur est en bon état.

II.4.5.3. Expertise de l'attelage mobile (piston et bielle)

L'attelage mobile est le cœur du moteur donc, il est nécessaire de contrôler l'alésage de la tête et du pied de bielle avec coussinet (voir la figure II.18). L'expertise de la bielle s'est faite comme suit :

Après le montage de coussinet dans leur loge, on a serré les vis reliant le chapeau de bielle à la bielle, puis à l'aide du vérificateur d'alésage on a contrôlé les alésages de pied et de tête de bielle ainsi que les diamètres relatifs au piston et on a trouvé les côtes portées sur les tableau II.5 et tableau II.6.

Tableau II.5: Dimensions d'attelage mobile.

Surface contrôlée	Diamètre (mm)
La tête de bielle	41,4
Pied de bielle	22,05
Axe du piston	22
Logement d'axe du piston	22
Jupe de piston	69,73

Tableau II.6 : Dimensions des segments et des gorges qui les portent.

Epaisseurs Segments	Epaisseur de la gorge de piston qui porte le segment de (mm)	Epaisseur du segment de (mm)
Feu	1,96	1,88
Compression	1,94	1,88
Racleur	3,90	3,87

II.4.5.4. Contrôle, expertise et réparation de la culasse

Après nettoyage de la culasse, on a démonté les soupapes pour contrôler l'état de la surface de leur siège et les guides soupapes. On a remarqué que la soupape d'échappement ne se fermait pas parfaitement à cause de son état de surface. Le rodage de la soupape est la solution unique à ce problème (Figure II.24).

- **Rodage des soupapes**

Les soupapes bien fermées doivent garantir une bonne compression et une étanchéité maximale par un remplissage optimum de la chambre de combustion. Un bon contact entre la soupape et son siège assure ainsi de parfaites phases d'admission et d'échappement et donc un rendement et un fonctionnement optimal du moteur. Un rodage sérieux va permettre de rétablir l'étanchéité de la chambre de combustion et de retrouver la compression initiale du moteur. Plus généralement, le rodage des soupapes doit impérativement s'effectuer après tout déculassage ou toute opération effectuée sur la culasse. De même, si vos soupapes sont trop abîmées et que vous désirez les remplacer, sachez qu'il va falloir également roder les soupapes neuves pour les « ré-accoupler » avec leurs sièges.

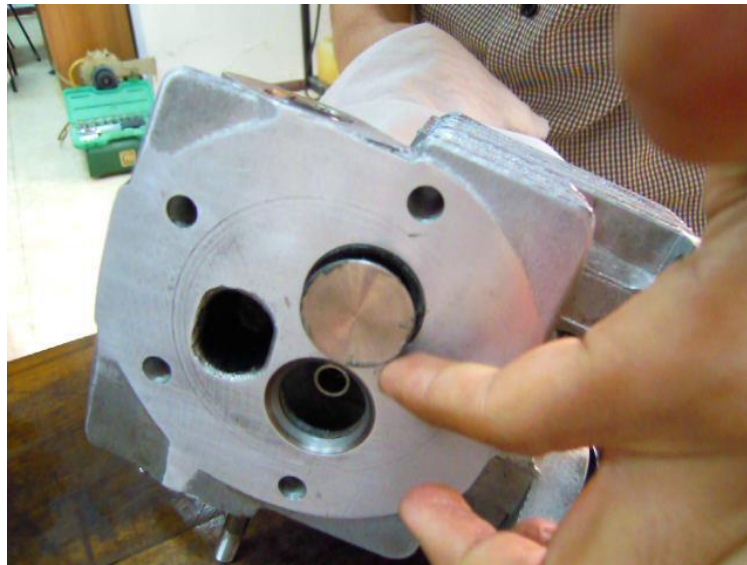


Figure II.24 : Rodage de soupape.

Cette opération est assurée par la pâte à roder et les ventouses (Figure II.25). Pour roder les soupapes on étale une couche fine de pâte à roder sur la surface de contact entre le siège et la soupape à roder, puis on fixe la ventouse sur la surface plate de la tête de soupape et on tourne les soupapes dans les deux sens jusqu'à l'obtention d'une surface grise qui signifie que l'opération de rodage est terminée (Figure II.26).

Après rodage on nettoie les soupapes et la culasse par le gasoil pour enlever complètement la pâte à roder, car le résidu de cette dernière peut pénétrer facilement dans le cylindre et le guide soupape et les endommager par la suite. Après nettoyage, on a remonté les soupapes avec leurs auxiliaires sur la culasse.



Figure II.25: Pâte à roder et les ventouses [49].



Figure II.26 : Soupape avant et après rodage.

II.4.5.5. Contrôle et réparation des organes du circuit d'alimentation

Le bon fonctionnement du moteur dépend du circuit d'alimentation en carburant, donc il est nécessaire de contrôler et réparer les organes constituant ce dernier. Comme mentionné précédemment (chapitre I), le circuit d'alimentation comporte les éléments suivants :

- **Réservoir**

Le réservoir de ce moteur est fixé sur la partie supérieure du banc d'essai TD114 afin d'assurer la circulation du gasoil dans le circuit par effet de gravité entre le réservoir (en haut) et le moteur (en bas), puisque le moteur ne contient pas de pompe d'alimentation. Ce positionnement sert aussi à déterminer le niveau du gasoil dans le réservoir ainsi que la consommation du moteur. (Figure II.27) Le nettoyage du réservoir était nécessaire car il contenait de la poussière et d'autres déchets.

On a détecté à une fuite au niveau de la vanne du réservoir et des fissures au niveau du tuyau reliant le réservoir au banc d'essai, ce qui nous a obligé de les remplacer par d'autres neufs.



Figure II.27 : Réservoir du moteur TD111.

- **Filtre gasoil**

Le filtre gasoil est fixé sur la cage du moteur (Figure II.4), il est relié au réservoir par un tuyau transparent. Le démontage du filtre était nécessaire pour le nettoyer et changer sa cartouche.

On a remplacé le tuyau reliant le filtre à l'unité de mesure TD114 par un tuyau transparent pour observer les bulles d'air dans le circuit et les purger au niveau de ce filtre (Cf : II.4.7. Essais de démarrage). On a rencontré aussi, une fuite du gasoil au niveau du filtre à gasoil due à la déformation du joint d'étanchéité de ce dernier, donc on il fallait le changer.

- **Pompe à injection**

A la sortie du filtre gasoil, se situe la pompe à injection reliée à ce dernier par deux tuyaux, le premier alimente la pompe à injection, le deuxième assure le retour du gasoil vers le filtre (Figure II.5). Le seul moyen de contrôler l'état dans le lequel se trouvait la pompe à injection dans notre moteur est de la remonter sur ce dernier et de vérifier son refoulement en tournant le vilebrequin manuellement. Normalement le contrôle de la pompe à injection doit se faire sur un banc d'essai spécifique qui contrôle le débit de refoulement du gasoil, ce dernier vient d'être récupéré dernièrement, mais malheureusement non fonctionnel (Figure II.28). Effectivement, après plusieurs essais, on a observé que la pompe à injection refoulait un débit important (Figure II.29), ce qui signifie qu'elle était en bon état. Donc, son démontage n'était pas nécessaire.

- **Injecteur**



Figure II.28 : Banc d'essai pompe d'injection.

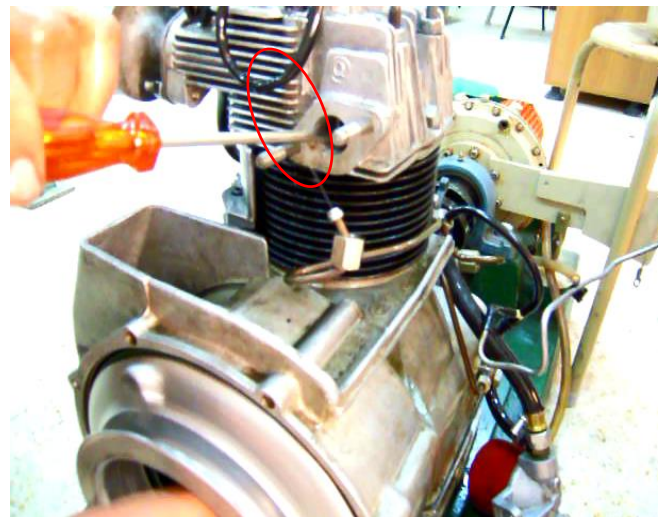


Figure II.29 : Refoulement du gasoil par la pompe à injection.

L'injecteur est alimenté par un tuyau métallique qui peut supporter les hautes pressions générées par la pompe à injection. Il possède également un tuyau de retour de la quantité du gasoil non injecté dans la chambre de combustion, vers le filtre gasoil. L'injecteur comme vu précédemment est fixé sur la culasse du moteur (Figure II.5).

La seule méthode de contrôle de l'état de fonctionnement de l'injecteur dans notre moteur est de l'alimenter directement par la pompe à injection et de vérifier la pulvérisation de l'injecteur au gasoil à l'extérieur de la chambre combustion et ce en tournant le vilebrequin manuellement pour que la pompe d'injection refoule du gasoil vers l'injecteur qui pulvérise une partie de cette quantité et renvoie le reste vers le filtre. Normalement la vérification de l'injecteur est faite par une pompe de tarage (Figure II. 30) qui permet de contrôler la pression

d'injection et l'ouverture des trous d'injection, mais notre injecteur contient uniquement un seul trou de pulvérisation. Malheureusement l'injecteur du moteur TD111 n'a pas fonctionné au départ, ce qui nous a obligé de le démonter (Figure II.31). Ce non fonctionnement est dû à l'obturation du trou d'injection. Pour régler ce problème, on a procédé au nettoyage de l'injecteur et donc de déboucher le trou de pulvérisation, puis, on a remonté l'injecteur et répété

Les essais de nouveau, et l'injecteur est mis en fonctionnement normalement donc, la réparation de l'injecteur est réussite (Figure II.32).



Figure II.30 : Pompe de tarage [50].



Figure II.31 : Démontage de l'injecteur.

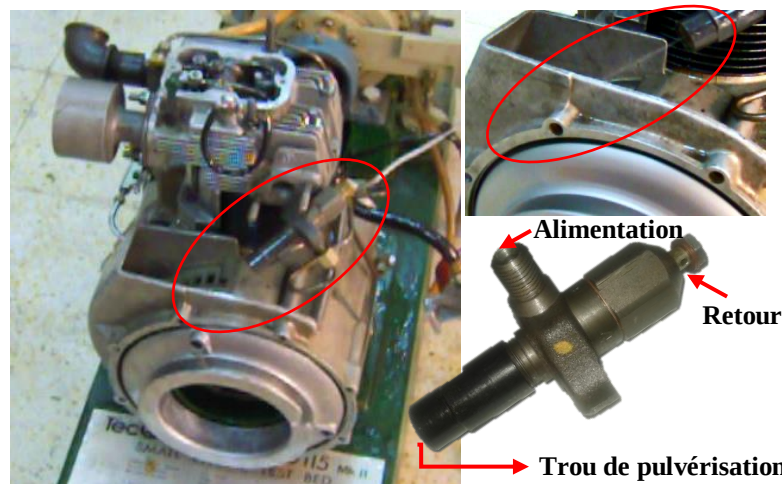


Figure II.32 : Réparation de l'injecteur (injecteur pulvérise du gasoil).

II.4.6. Remontage du moteur TD111

Après le nettoyage, le contrôle, l'expertise, et la réparation des différentes pièces défectueuses du moteur TD111, vient le temps de le remonter. Pour cela, on a suivi les procédures de remontages suivantes :

- Remontage de la chemise sur le bloc moteur ;
- Réassemblage du piston, bielle par l'axe du piston et les circlips qui bloquent l'axe du piston, une fois ces deux étapes sont effectuées à savoir :
 - ✓ Remontage des segments sur le piston du bas en haut (segment racleur, segment de compression et segment de feu) ;
 - ✓ Remontage des coussinets sur la tête de bielle qui doit se faire à sec afin d'éviter le glissement des coussinets ;
- Remontage de l'attelage mobile en l'introduisant à travers la chemise et en fixant la tête de bielle sur le maneton du vilebrequin par le chapeau de bielle (l'huile de graissage est nécessaire entre le coussinet et le maneton du vilebrequin pour éviter le contact à sec) ;
- Remontage de carter inférieur du moteur sur le bloc moteur ;
- Remontage du carter de distribution (carter latéral), après vérification des pignons de distribution puis remontage de l'arbre liant le vilebrequin à l'accouplement ;
- Remontage du filtre à huile ;
- Pose du joint culasse sur la surface supérieure de la chemise et pose des caches de tiges culbuteurs ;
- Remontage de la culasse ;
- Pose des tiges culbuteurs et remontage des culbuteurs sur la culasse ;
- Réglage du jeu de soupape (admission : 0,10 mm et échappement : 0,20 mm selon le manuel d'utilisation du moteur) ;
- Remontage de cache culbuteur ;
- Remontage de l'injecteur et de la pompe à injection ;
- Remontage des tuyauteries du moteur ;
- Remontage des canaux d'admission et d'échappement.

II.4.7. Essais de démarrage

Avant de procéder aux essais de démarrage, on doit remplir le réservoir du gasoil par du carburant (gasoil) nécessaire au démarrage du moteur et le carter d'huile en huile assurant la lubrification des surfaces du moteur qui sont en contact et en mouvement, puis on doit suivre les étapes de démarrage suivantes :

1. Ouvrir le robinet du carburant du réservoir ;
2. Si le système d'alimentation en carburant a subi des modifications (démontage de l'un des composants du circuit d'alimentation), purger ce circuit afin d'éviter la pénétration bulles d'air à l'intérieur de la pompe à injection (voir la figure II.33) ;
 - a) Desserrer les deux vis (A) situés en haut du filtre du carburant jusqu'à la sortie des bulles puis les resserrer (voir la figure II.33) ;
 - b) Déplacer le levier STOP/RUN (B) à la position « RUN » ;
 - c) Desserrer la vis (C) de la pompe à injection et tourner le moteur un peu jusqu'au dégagement des bulles, resserrer la vis ; L'arbre moteur sera facile à tourner si le décompresseur (D) est

- opérationnel c. à d ; en position verticale, cette dernière correspond à l'ouverture de la soupape d'échappement ce qui empêche le moteur à comprimer l'air admis) (Figure II.33) ;
3. Déplacer le levier STOP/RUN (B) en position « RUN ». Mettre la « valve d'étranglement THROTTLE » à mi- position et pousser ensuite en bas le levier d'arrêt de surcharge (E). Ceci donne une quantité de plus du carburant au moteur c-à-d. joue le rôle du starter dans le moteur à essence ;
 4. Sous 13°C, et si le moteur est froid il est nécessaire d'amorcer le moteur à la main en suivant ces recommandations :
 - a) Enlever le débouchoir d'amorçage (F) ;
 - b) Remplir la chambre bouchée par le débouchoir d'amorçage F par l'huile du moteur (non pas par le carburant) ;
 - c) Replacer le débouchoir et presser en bas ;
 5. Tourner la poulie de démarrage contre le sens de la flèche indiquée sur la cage du moteur jusqu'à sentir une résistance. Rebondir la poulie vigoureusement jusqu'à la grince de l'injecteur 10 fois (Ceci n'est pas nécessaire pour un moteur chaud).
 6. Faire serpenter la corde sur la poulie dans le sens de rotation. NE PAS SERPENTER LA CORDE SUR VOS POIGNIER ;
 7. Assurer que lever du décompresseur est désengagé (position horizontale), ensuite tirer la corde pour démarrer le moteur ;
 8. Amorcer de nouveau (répéter l'étape 4) si le moteur est froid, avant de redémarrer vérifier le levier d'arrêt de surcharge (E) ;
 9. Laisser le moteur tourner pendant 5 minutes, l'excès du carburant doit être réglé automatiquement.

Toutes ces étapes sont nécessaires pour le démarrage correct et facile de notre moteur qui s'est fait effectivement en les suivant à la lettre.

Une fois assurée que le moteur TD111 est fonctionnel, on l'a remonté sur le banc d'essai TD115 en vérifiant l'alignement de l'arbre moteur avec l'arbre du banc d'essai. Alignement vérifié à l'aide d'un comparateur.

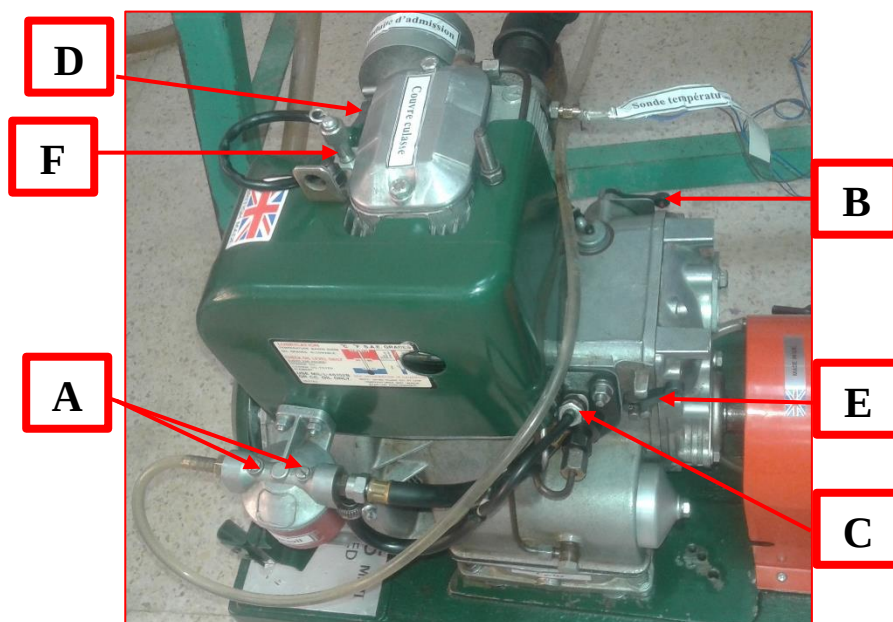


Figure II.33 : Moteur TD111.

II.4.8. Banc d'essai TD115 et l'unité de mesure TD114

L'unité de mesure TD114 (voir la figure II. 34) est nécessaire pour le contrôle des paramètres du moteur TD111 (couple, nombre de tours, température d'échappement...etc.). Sur l'unité de mesure TD 114, on trouve le réservoir du carburant et les panneaux d'affichage des lectures provenant des capteurs du banc d'essai TD115 là où est fixé notre moteur (Figure II.35).

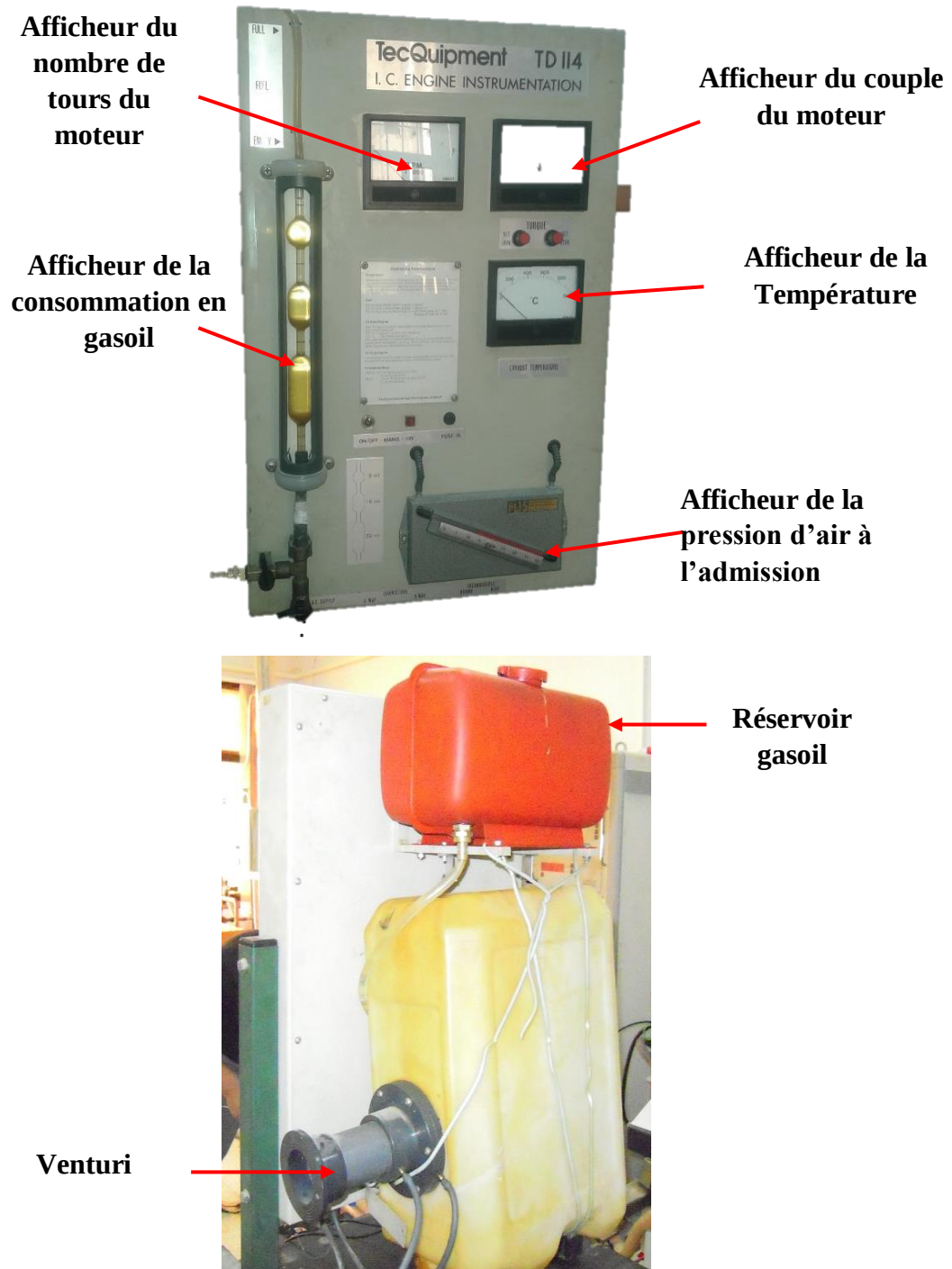


Figure II. 34 : Unité de mesure.

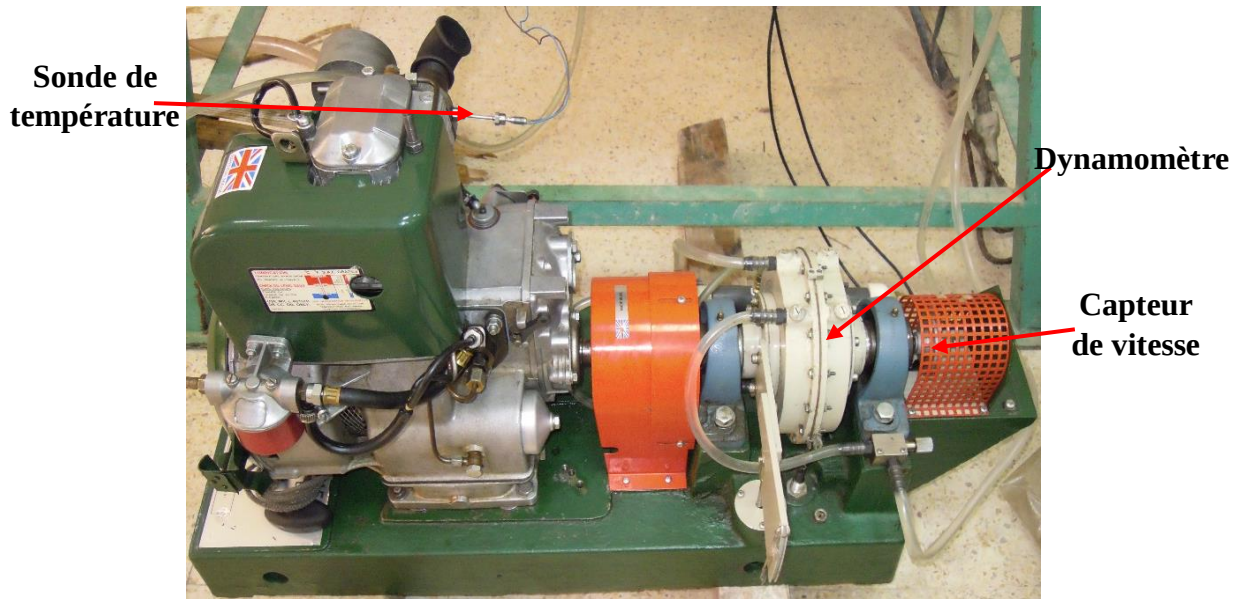


Figure II.35 : Banc d'essai TD115.

II.4.8.1. Diagnostic du banc d'essai et de l'unité de mesure

Pour le banc d'essai TD114, on a relevé des pannes au niveau de la vanne du réservoir du gazoil, du tuyau reliant le réservoir au banc d'essai et de l'afficheur de lecture de température d'échappement. Le tuyau de mesure de la pression d'admission n'est pas fonctionnel car il est fissuré.

Le banc d'essai TD115 contenait plusieurs problèmes au niveau du frein de mesure du couple moteur, du fil reliant le frein et le capteur couple, manque de tuyaux de raccord, mauvaise qualité des tuyaux, raccord cassé, manque de vis et goudjons de fixation du moteur...etc.

II.4.8.2. Réparation du Banc d'essai TD115 et l'unité de mesure TD114

Afin de réparer le banc d'essai TD114, on était obligé de démonter l'afficheur de température qui n'indique rien (blocage de l'aiguille), une fois que l'aiguille est débloquée, on l'a remontée sur le panneau TD114. On a changé la vanne du réservoir, le tuyau reliant le réservoir au banc d'essai TD114 et patcher la fissure du tuyau alimentant le tube de consommation.

La réparation du banc d'essai TD115 était si complexe car on était obligé de changer toutes les tuyauteries et quelques raccords cassés et de réparer le fil qui relie la pompe hydraulique au capteur couple, qui était une opération précise et qui a nécessité plus de temps.

En résumé, toutes les pannes signalées précédemment ont été réparées en remplaçant les éléments défectueux par d'autres neufs. Finalement, le moteur TD111 et ses auxiliaires TD 114 et TD115 fonctionnent correctement (Figure II. 37 avant et après) et peuvent être utilisés par les étudiants pour mener à bien leur formation (voir la vidéo de fonctionnement du moteur TD114(DVD)).

II.5. Maintenance corrective du moteur Volkswagen D1600

II.5.1. Description du moteur Volkswagen D1600

Le moteur Volkswagen D1600 est un moteur diesel à quatre temps, à injection indirect, il comporte quatre (04) cylindres en ligne, son arbre à came est en tête du moteur, il est refroidi par eau et possède un système de démarrage électrique. Le tableau II.7 regroupe les caractéristiques du moteur Volkswagen D1600.

Tableau II.7 : Fiche technique du moteur Volkswagen D1600 [51].

Caractéristiques \ Moteur	Volkswagen D1600
Constructeur	Volkswagen
Cylindrée, Alésage×Course	1588 cm ³ , 76,5×86,4 mm
Taux de compression	23
Couple maximal	98,07 N.m à 2300 tr/min
Puissance maximale	39,71 kW(54 chevaux) à 4800 tr/min
Vitesse maximale recommandée	4800 tr/min

II.5.2. Diagnostic du moteur Volkswagen Golf II D1600

Selon le responsable du laboratoire M. Boucherb, le moteur Volkswagen D1600 (Figure II.36) est non fonctionnel et ce depuis sa nomination sur la tête du laboratoire moteur en 2012, en plus, le moteur VW ne possède pas d'unité de mesure auxiliaire, il est solidaire à son banc d'essai. On l'a trouvé couvert de poussière due à sa longue période d'arrêt (sans usage). Pour cela, son nettoyage externe est nécessaire. En effet, cette opération s'est effectuée en le soufflant par de l'air sous pression.

On a essayé manuellement d'entraîner le vilebrequin mais malheureusement il était totalement bloqué, donc on a conclu que le moteur nécessite une révision générale pour la remise du moteur en service.

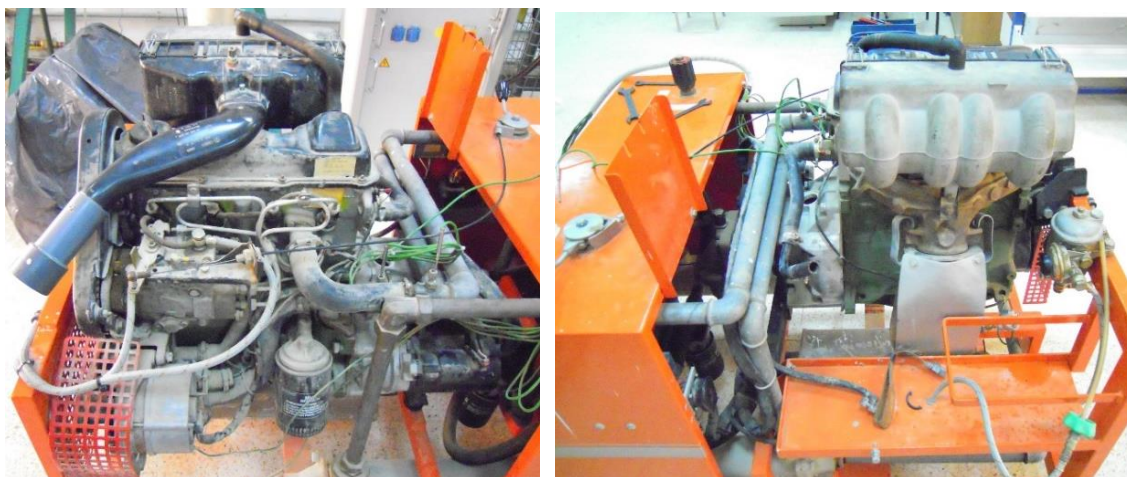


Figure II.36 : moteur Volkswagen D1600 avant réparation

II.5.3. Démontage de moteur Volkswagen Golf II D1600

Le démontage a pour but de déterminer les dommages cachés du moteur, il se fait suivant un ordre précis qu'on doit suivre pour faciliter et simplifier le démontage. Pour cela, on a matriculé les différents vis et pièces et on les a bien organisés pour faciliter leur remontage puisque le moteur contient plusieurs pièces (Figure II.37).

Le démontage du moteur Volkswagen Golf II D1600 s'est effectué dans l'ordre suivant :

- Sondes de température ;
- Tuyauteries de refroidissement ;
- Filtre gasoil ;
- Filtre air ;
- Collecteur d'échappement ;
- Collecteur d'admission ;
- Cache courroie de distribution ;
- Démarreur ;
- Couvercle culasse ;
- Tuyauteries d'alimentation et les tuyauteries de retour du gasoil ;
- Injecteurs ;
- Poulie de la pompe à eau et poulie du vilebrequin ;
- Pompe à eau ;
- Bouchon de vidange ;
- Tendeur et courroie de distribution ;
- Arbre à cames ;
- Poussoirs ;
- Culasse ;
- Démontage du moteur du banc d'essai grâce à la girafe (Figure II.38) ;
- Filtre à huile ;
- Support moteur ;
- Pompe à injection ;
- Poulie de pompe à huile ;
- Carter inférieur ;
- Pompe à huile ;
- Attelages mobiles ;
- Désaccouplement du moteur du système de freinage hydraulique ;
- Carter avant (carter volant moteur) ;
- Volant moteur ;
- Vilebrequin ;

L'ordre suivi lors du démontage du moteur est dû d'un côté à la difficulté de démontage de certaines pièces sans le démontage du moteur de son banc d'essai, et d'autre part au manque d'outils nécessaire au démontage.

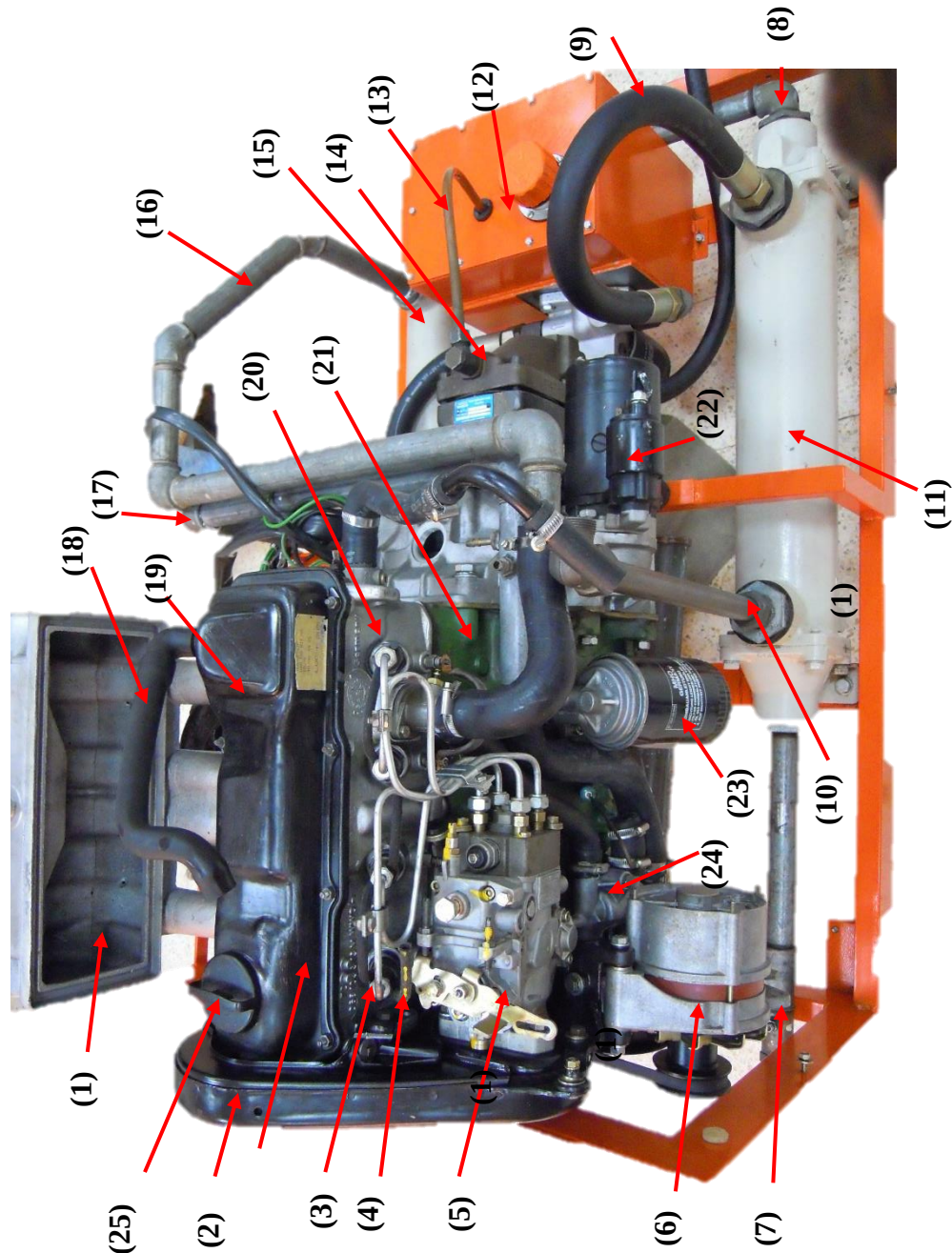


Figure II.37 : organes extérieur moteur Volkswagen.

(1) Collecteur d'admission ; (2) Carter latéral ; (3) Injecteur ; (4) Retour injecteur ; (5) Pompe à injection ; (6) Alternateur ; (7) Entrée d'eau froide; (8) Sortie d'eau froide; (9) Sortie d'huile chaude; (10) Entrée d'huile chaude; (11) Echangeur huile/eau; (12) Réservoir d'huile de la pompe hydraulique; (13) Retour d'huile de la pompe; (14) Pompe hydraulique; (15) Echangeur eau/eau; (16) Entrée eau chaude; (17) Sortie eau froide; (18) Tuyau reniflard; (19) Couvre culasse; (20) Culasse; (21) Bloc moteur; (22) Démarreur; (23) Filtre à huile; (24) Pompe à eau; (25) Bouchon de remplissage huile.



Figure II.38 : Moteur Volkswagen porté par la girafe.

Les vis de fixation, les écrous, ...etc., démontés doivent être repérables pour simplifier leur remontage dans leur emplacement d'origine, car ces petits composants se ressemblent et il est délicat de les distinguer. C'est pour cela que cette opération est jugée importante. On peut repérer ces petites pièces, en les mettant à l'intérieur de boîtes, petits sacs..., etc. portant une matricule (numéro d'enregistrement) (Figure II.39).



Figure II.39 : Technique de repérage adoptée des vis de fixation et des écrous.

II.5.4. Nettoyage du moteur Volkswagen Golf II D1600

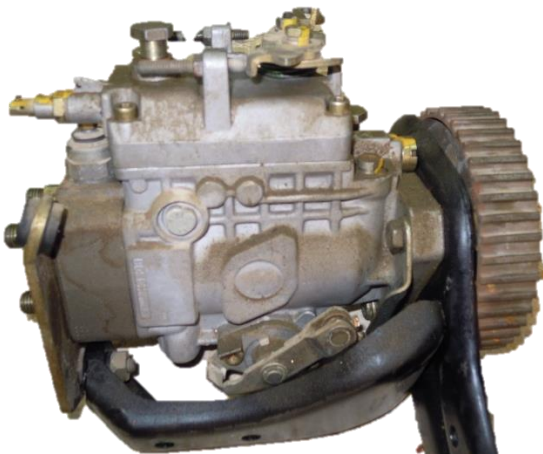
Comme on l'a fait pour le moteur TD111, le moteur Volkswagen D1600 doit être nettoyé, afin d'assurer le contrôle visuel et dimensionnel de ses pièces. Le gasoil, les brosses métalliques, les pinceaux, le papier de verre (Toile émeri) et les chiffons (Figure II.40) sont les moyens utilisés afin d'assurer le nettoyage de ce dernier.



Figure II.40 : Matériels de nettoyage.

La figure II.41 montre des photos des pièces du moteur Volkswagen D1600 (VW) avant et après nettoyage.

Avant Nettoyage :



Après nettoyage :



Pompe à injection.



Démarrreur.



Attelage mobile.



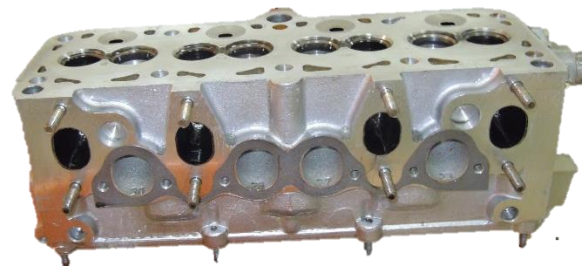
Réservoir huile pompe hydraulique.



Boite entrée de l'échangeur.



Bloc moteur avec attelage.



Culasse.

Figure II.41 : Pièces du moteur VW avant et après nettoyage.

II.5.5. Contrôle et expertise du moteur Volkswagen D1600

Les tableaux suivants (Tableau II.8, Tableau II.9, Tableau II.10, Tableau II.11, Tableau II.12 et le Tableau II.13), montrent les résultats obtenus après avoir fait l'expertise des pièces importantes du moteur Volkswagen D1600 à savoir ; palier du bloc moteur avec et sans coussinet (Figure II.42), cylindres, vilebrequin, bielle, et pistons.

Tableau II.8 : Expertise du palier du bloc moteur avec coussinet (ligne d'arbre).

Contrôle palier N°	Contrôle suivant		
	XX (mm)	YY (mm)	ZZ (mm)
1	54, 01	54,00	54 ,01
2	54, 00	54,00	54,00
3	54, 00	54,00	54,00
4	54, 01	54,00	54,00
5	54, 01	54,01	54,01

D'après le tableau II.8, on constate qu'il n'y a pas de différences considérables entre les mesures obtenues sur différents plans. Donc le bloc moteur est en bon état en d'autres termes il est fonctionnel.

Tableau II.9 : Expertise des paliers du bloc moteur sans coussinets (ligne d'arbre).

Contrôle palier N=	Contrôle suivant		
	XX (mm)	YY (mm)	ZZ (mm)
1	59, 03	59,02	59,03
2	59, 02	59,02	59,02
3	59, 03	59,02	59,03
4	59, 03	59,02	59,03
5	59, 03	59,03	59,03

Une autre fois, on constate que les paliers du bloc moteur sont en bon état, vu la similarité des valeurs obtenues (presque identiques). De plus on a mesuré le jeu axial du vilebrequin (Figure II.43) et on l'a trouvé égale à 0,08 mm. Le rôle de ce dernier est de laisser le passage d'un film d'huile entre les paliers du bloc moteur et le vilebrequin

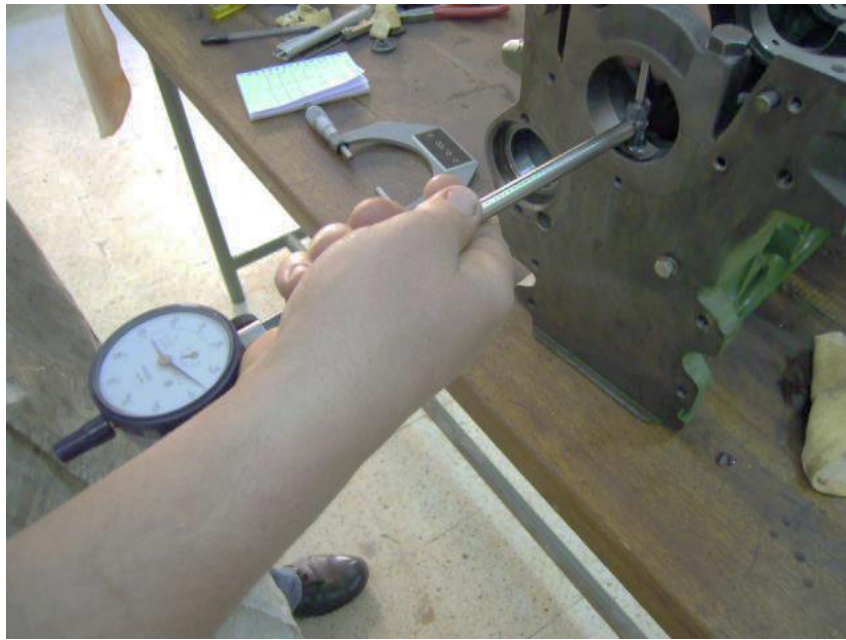


Figure II.42 : Contrôle du palier du bloc moteur sans coussinet.

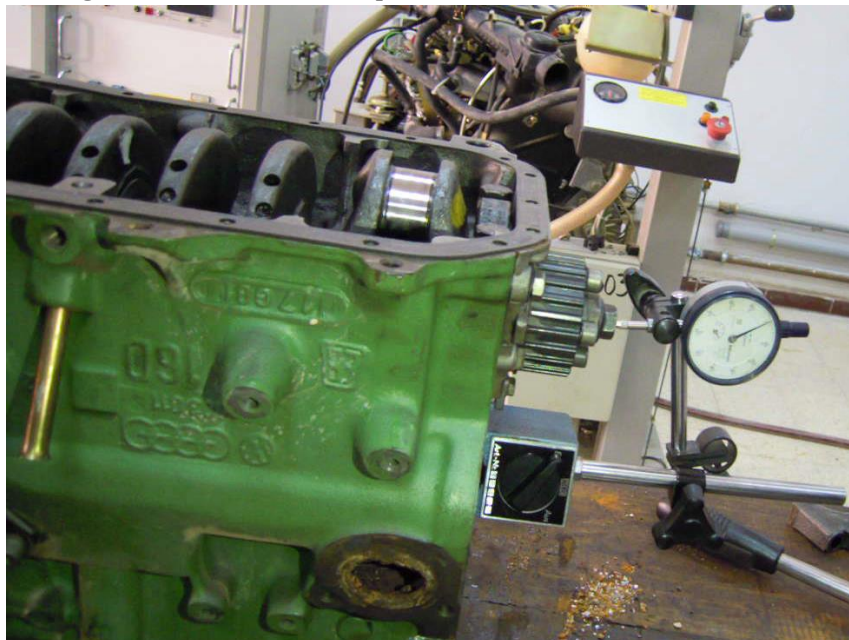


Figure II.43 : Mesure du jeu axial du vilebrequin.

Une autre fois, d'après le tableau II.10 suivant on remarque que les cylindres sont intacts, les cylindres ne sont pas ovalisés ou coniques.

On peut définir l'ovalisation comme le défaut d'une pièce ou d'une cavité cylindrique dont la section circulaire devient ovale par suite d'une usure inégale, et la conicité comme un profil tronconique des cylindres.

L'ovalisation maximal est la plus grande différence entre deux diamètres perpendiculaires sur un même plan (Figure II.44) :

$$\text{Ovalisation} = |A-B| \quad (\text{II.1})$$

La conicité maximale est la plus grande différence entre deux diamètres (figure II.45), situé sur des plans différents dans la même direction (figure II.46), c'est la valeur maximale entre :

$$\text{Conicité} = |A-B| \text{ ou } |C-D| \quad (\text{II.2})$$

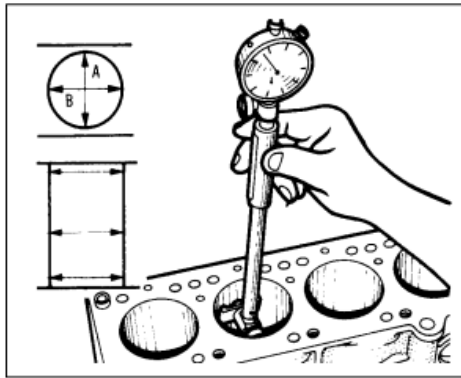


Figure.44 : Mesure d'ovalisation [52].

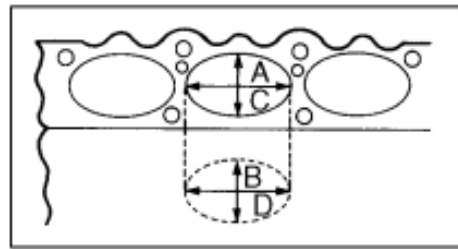


Figure II.45 : Mesure de conicité [52].

Tableau II.10 : Expertise des cylindres.

		Chemise 1		Chemise 2		Chemise 3		Chemise 4	
PLAN		XX	YY	XX	YY	XX	YY	XX	YY
1		77,04	77,03	77,04	77,03	77,05	77,03	77,05	77,04
2		77,04	77,02	77,04	77,02	77,05	77,03	77,06	77,03
3		77,03	77,03	77,04	77,03	77,04	77,04	77,05	77,04
Conicité max		0 ,01		0,01		0,01		0,01	
Ovalisation max	0,02	0,02		0,02		0,03			

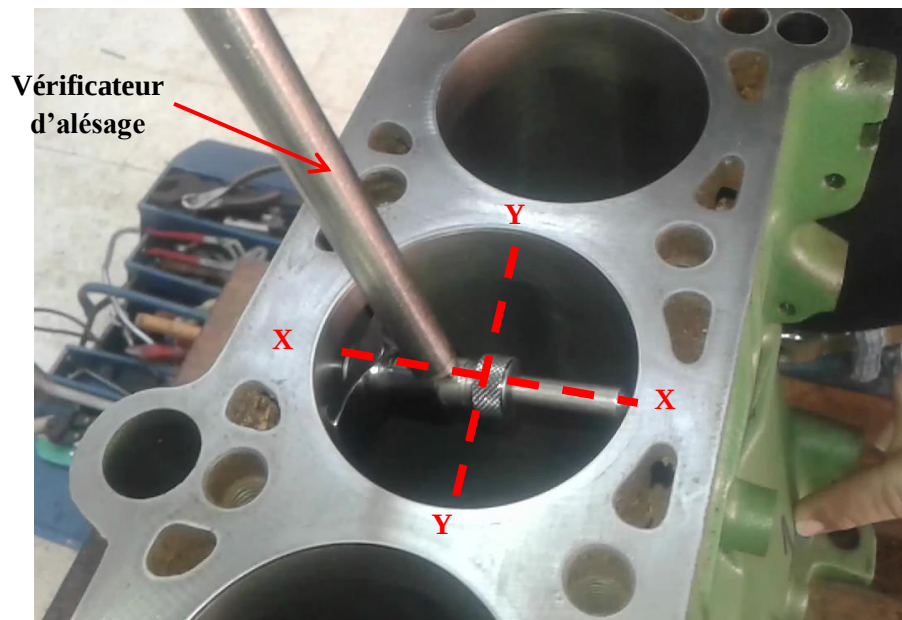


Figure II.46 : Directions des mesures pour cylindre moteur VW.

Tableau II.11 : Expertise du vilebrequin.

N	Tourillon			Maneton		
	XX	YY	ZZ	XX	YY	ZZ
1	53,73	53,73	53,73	47,52	47,52	47,52
2	53,73	53,73	53,73	47,51	47,51	47,51
3	53,73	53,73	53,73	47,51	47,51	47,51
4	53,73	53,73	53,73	47,51	47,51	47,51
5	53,73	53,73	53,73			

D'après l'expertise faite sur le vilebrequin du moteur VW et les résultats du tableau II.11, le vilebrequin du moteur VW est en très bon état.

Tableau II.12 : Expertise de bielle.

Contrôle bielle N°	tête de bielle			Pied de bielle	
	XX	YY	ZZ	XX	YY
1	50, 63	50,63	50,62	24,10	24,09
2	50, 62	50, 62	50, 62	24,10	24,09
3	50, 62	50, 63	50, 63	24,10	24,09
4	50, 63	50, 63	50, 63	24,10	24,09

Une autre fois, on remarque d'après le tableau II.12 que les bielles du moteur VW sont en très bon état.

Tableau II.13 : Expertise de piston.

Piston N°	Juje	Gorge			Logement d'axe		Diamètre d'axe piston	
		G 1	G2	G3	XX	YY	XX	YY
1	76,94	1,82	2,05	3,03	24,04	24 ,03	24,00	24,00
2	76,95	1,81	2,05	3,03	24,04	24 ,03	24,00	24,00
3	76,93	1,83	2,05	3,03	24,04	24 ,03	24,00	24,00
4	76,93	1,83	2,05	3,03	24,04	24 ,03	24,00	24,00

D'après l'expertise faite sur le piston du moteur VW (Figure II.47) et les résultats du tableau II.13, le piston du moteur VW est en très bon état.



Figure II.47 : Expertise des gorges et logement axe piston.

II.5.5.1. Réparation des organes de circuit de refroidissement

Après le démontage du moteur, on a constaté que la roue de la pompe à eau du moteur Volkswagen D1600 est totalement bloquée par la rouille et le calcaire qui obstruent aussi le circuit de refroidissement à eau (Figure II.49), et comme la pompe à eau est entraînée par le vilebrequin (par courroie), celle-ci l'a bloqué entièrement (Figure II.48) d'où le non fonctionnement du moteur.

Afin de déboucher le circuit de refroidissement du calcaire et de la rouille, on a commencé par le nettoyage du circuit intégré dans le bloc moteur et la culasse par du gasoil et de l'air sous pression.

Après nettoyage, on a procédé au démontage de la pompe à eau pièce par pièce, puis on a immergé, pendant un bon moment, la roue et la volute dans un bain d'acide pour enlever la couche du calcaire qui s'est déposée, depuis plus de 10 ans. Afin de se débarrasser de la rouille qui couvre totalement la roue, on l'a brossée par de brosse métallique, cette technique est adoptée aussi pour la volute. Enfin, on a nettoyé pour la dernière fois, les organes de la pompe à eau par du gasoil propre puis on les a essuyés du gasoil par des chiffons avant de commencer la procédure du remontage (Figure II.50). Afin d'assurer l'étanchéité de la pompe à eau, on a renouvelé les jointures d'étanchéité (jointures neuves) et on les a renforcées par l'ajout de la silicone, puis on a resserré l'ensemble par des vis de fixation.

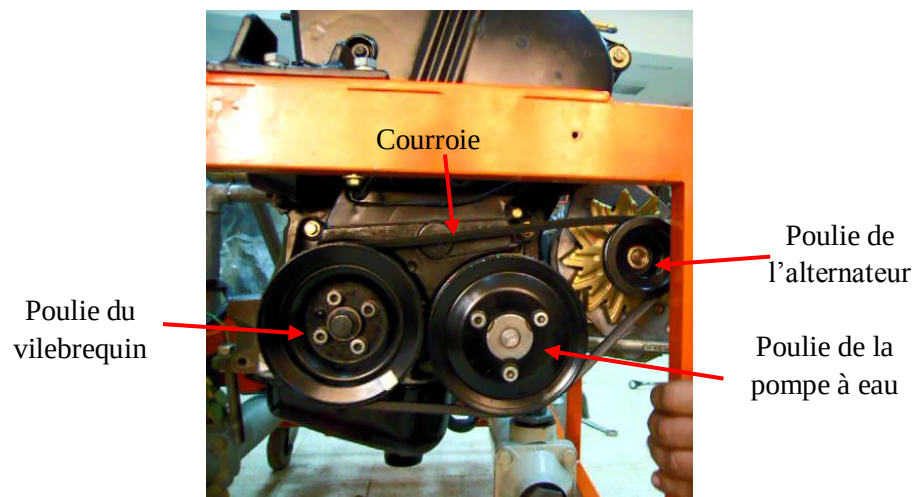


Figure II.48 : Distribution des auxiliaires.



Figure II.49 : pompe à eau et circuit de refroidissement du bloc moteur avant nettoyage.



Figure II.50 : Pompe à eau après nettoyage et réparation.

Comme le circuit d'eau de refroidissement du moteur VW comporte un échangeur de chaleur, il fallait contrôler son état. Le seul moyen de le faire est de le démonter. Malheureusement, l'échangeur est complètement obstrué par du calcaire (Figure II.51). Pour le nettoyer, il faut déboucher les trous des tubes et remplir l'échangeur par de l'acide pour enlever ce dépôt de calcaire (Figure II.52). Une fois débouché, il faut rincer l'échangeur abondamment d'eau pour enlever toute trace d'acide. Après nettoyage, l'échangeur est rassemblée de nouveau (Figure 53).



Figure II.51: Boîte d'échangeur et circuit bouché par le calcaire.



Figure II.52 : Nettoyage de l'échangeur par acide.



Figure II.53 : Echangeur eau/eau après nettoyage.

II.5.6. Remontage moteur vwD1600

Le remontage du moteur Volkswagen est un peu compliqué puisqu'il contient plusieurs pièces, on va citer uniquement le remontage des pièces principales du moteur. Pour plus de détails se référer au DVD qui accompagne ce mémoire. On a procédé au :

- Montage du demi-coussinet inférieur sur la ligne d'arbre ;
- Mise en place vilebrequin ;
- Montage du demi-coussinet supérieur sur les chapeaux des paliers ;
- Montage les chapeaux des paliers et serrage des vis de fixation (Figure II.54) ;

- Réassemblage du piston, bielle par l'axe du piston et les circlips qui bloquent l'axe du piston, une fois ces deux étapes sont effectuées à savoir :
 - ✓ Remontage des segments sur le piston du bas en haut (segment racleur, segment de compression et segment de feu) ;
 - ✓ Remontage des coussinets sur la tête de bielle qui doit se faire à sec afin d'éviter le glissement des coussinets ;
- Remontage de l'attelage mobile en l'introduisant à travers la chemise et en fixant la tête de bielle sur le maneton du vilebrequin par le chapeau de bielle (l'huile de graissage est nécessaire entre le coussinet et le maneton du vilebrequin pour éviter le contact à sec) (Figure II.55) ;
 - Remontage de la pompe à huile ;
 - Remontage de carter d'huile (Figure II.56) ;
 - Remontage du renvoi d'angle de la pompe à huile (arbre avec poulie d'entraînement) (Figure II.57) ;
 - Remontage de joint spi sur les deux coté du vilebrequin ;
 - Remontage du culasse (Figure II.58) ;
 - Remontage des bougies de préchauffage (Figure II.59) ;
 - Remontage des injecteurs (Figure II.60) ;
 - Remontage de l'arbre à came (Figure II.61) ;
 - Remontage de support de filtre à huile ;
 - Remontage de la pompe à injection (Figure II.62) ;
 - Remontage du tendeur de la courroie de distribution ;
 - Réglage de système distribution (calage) (Figure II.63) ;
 - Montage des tuyaux des injecteurs et les tuyaux de retour du gasoil des injecteurs (Figure II.64) ;
 - Remontage du couvre culasse ;
 - Remontage de la pompe à eau (Figure II.65);
 - Remontage de cache de distribution ;
 - Remontage de la poulie de pompe à eau et la poulie du vilebrequin ;
 - Remontage de l'alternateur ;
 - Remontage de la courroie d'entraînement des auxiliaires (pompe à eau avec alternateur) (Figure II.48);
 - Remontage de cache distribution des auxiliaire ;
 - Remontage du volant moteur (Figure II.66) ;
 - Remontage du carter avant ;
 - Remontage du support moteur ;
 - Remontage du démarreur ;
 - Remontage de la pompe hydraulique (l'ensemble entraînée) (Figure II.67) ;
 - Remontages des conduits de circuit de refroidissement ;
 - Remontage du collecteur d'admission ;
 - Remontage du collecteur d'échappement ;

Ci-dessous vous trouverez l'ensemble de figure qui contient le remontage des organes principales du moteur Volkswagen D1600.

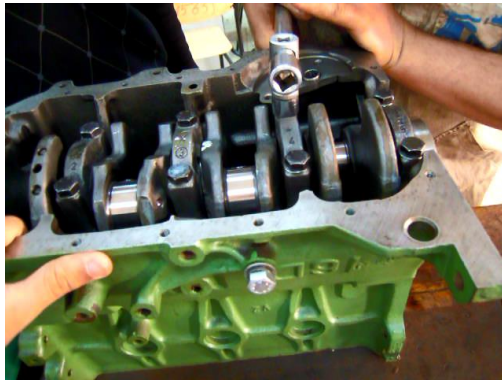


Figure II.54 : Remontage du vilebrquin.



Figure II.55 : Remontage attelage mobile.



Figure II.56 : Remontage carter inférieur.

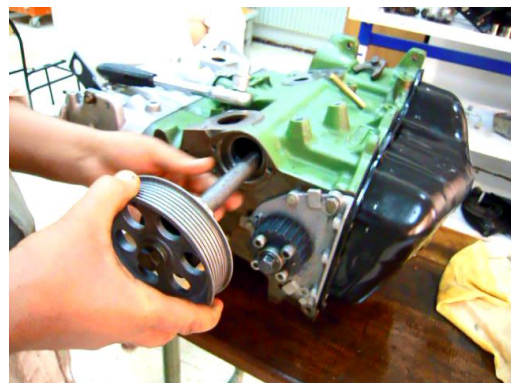


Figure II.57 : Remontage arbre pompe à huile.



Figure II.58 : Remontage culasse.



Figure II.59 : Remontage bougie préchauffage.

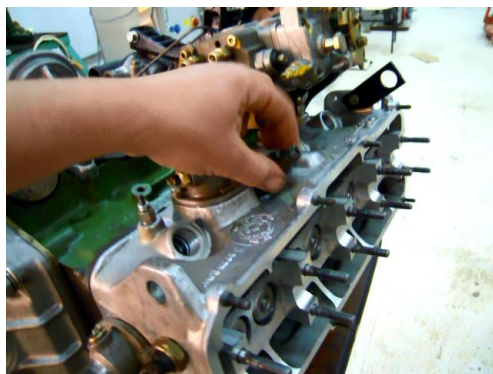


Figure II.60 : Remontage injecteur.

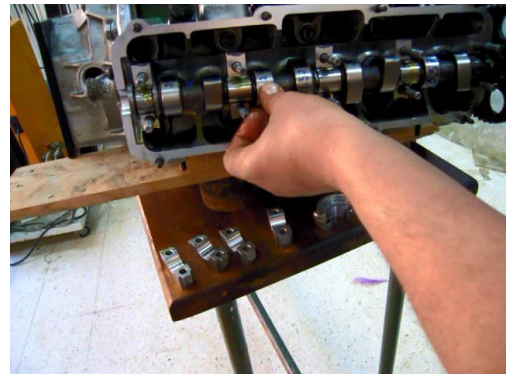


Figure II.61 : Remontage arbre à came.



Figure II.62 : Remontage pompe à injection

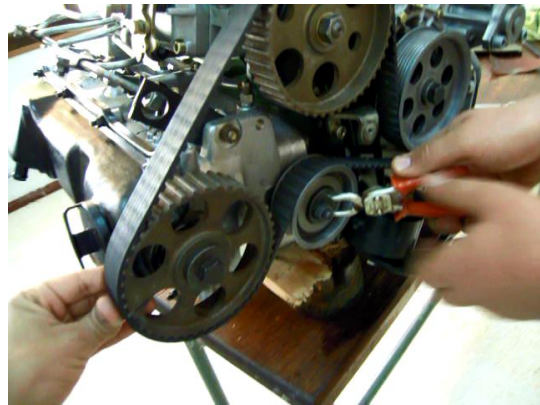


Figure II.63 : Remontage courroie de distribution.

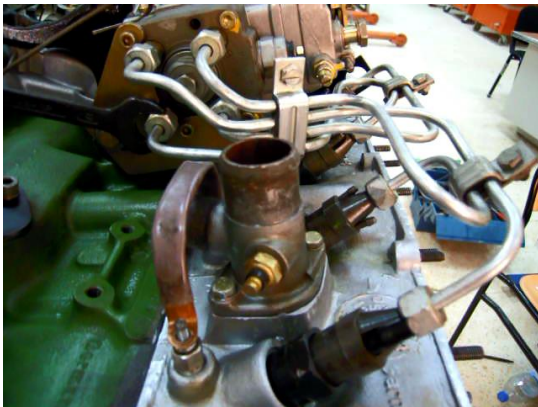


Figure II.64 : Remontage tuyauteries d'injection.

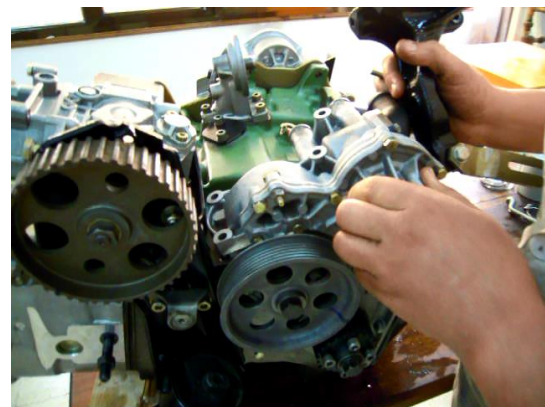


Figure II.65 : Remontage pompe à eau.



Figure II.66 : Remontage volant moteur.



Figure II.67 : Remontage pompe hydraulique.

II.5.7. Banc d'essai

Le banc d'essai du moteur Volkswagen D1600 (Figure II.68) est composé de :

- Socle de fixation du moteur ;
- Sondes de température qui mesurent les températures suivantes :
 - ✓ Entrée d'eau froide (1) ;
 - ✓ Sortie d'eau froide (2) ;
 - ✓ Entrée d'eau chaude (3) ;

- ✓ Sortie d'eau chaude (4) ;
 - ✓ Air d'admission (5) ;
 - ✓ Gaz d'échappement (6) ;
 - ✓ Eau circulant dans la culasse (7) ;
 - ✓ Huile du carter (8).
- Deux afficheurs à aiguille de la température d'huile du carter et de la température de l'eau de refroidissement de la culasse ;
 - Vachette et lampes d'indication ;
 - Pompe hydraulique qui permet de mesurer le couple fourni par le moteur (par un manomètre) et sert à freiner le moteur à l'aide d'une vanne de commande
 - Réservoir d'huile de la pompe hydraulique ;
 - Filtre à huile de l'huile de la pompe à hydraulique ;
 - Echangeur huile-eau pour refroidir l'huile de la pompe de freinage.



Figure II.68 : banc essai moteur Volkswagen D1600 avant nettoyage.

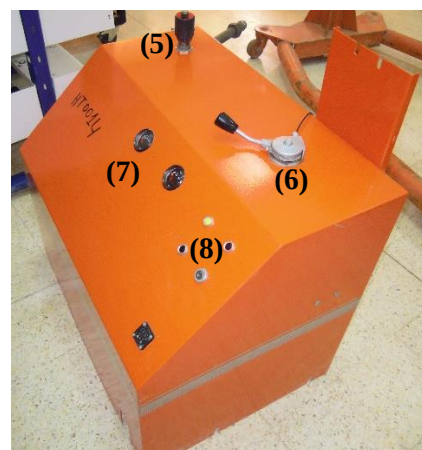
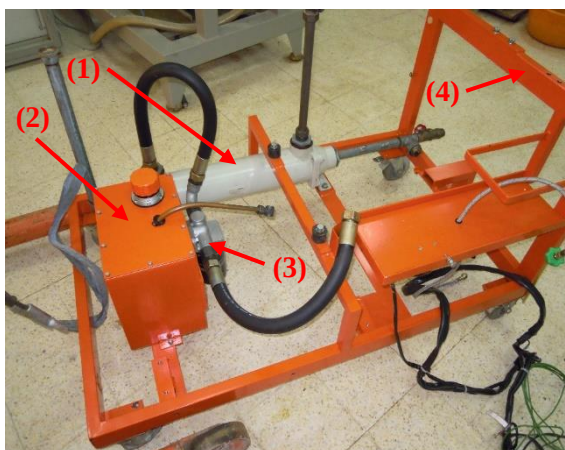


Figure II.69 : banc essai moteur Volkswagen D1600 après nettoyage.

- (1) Echangeur huile/eau ; (2) Réservoir huile pompe hydraulique ; (3) Filtre huile pompe hydraulique ; (4) Socle de fixation du moteur ; (5) Vanne de commande ; (6) Accélérateur ; (7) Afficheurs des températures ; (8) Vachette et lampe d'indication.

II.5.8. Essais de démarrage

Après la révision générale du moteur Volkswagen D1600, il est nécessaire de passer par les étapes suivantes avant de démarrer ce dernier.

- Remplir le circuit de refroidissement par de l'eau, attendre environ 2 heures puis s'assurer qu'il n'existe aucune fuite d'eau extérieure ou intérieure (carter huile) ;
- Remplir le moteur par l'huile de graissage (dans ce cas, on a utilisé l'huile moteur 20W40) jusqu'au niveau maximum indiqué sur la jauge d'huile. Vérifier qu'il n'existe aucune fuite au niveau carter ;
- Avant de remplir le réservoir du gasoil par du gasoil, on doit s'assurer qu'il est propre, puis on le remplit ;
- Purger le circuit d'alimentation pour éliminer l'air existant dans le circuit, et pour assurer cette opération on doit :
 - ✓ Dévisser la vis de purge du filtre gasoil qui se situe au-dessous du filtre ;
 - ✓ Pomper du gasoil à l'aide de la pompe Japet (pompe manuelle) jusqu'à la sortie du gasoil par la vis de purge et assurer qu'il n'y a plus d'air dans le filtre gasoil, puis resserrer la vis de purge ;
 - ✓ Pour purger la pompe à injection, on doit desserrer le raccord reliant le retour des injecteurs à la pompe à injection (Figure 37) et commencer à pomper le gasoil à l'aide de la pompe Japet jusqu'à ce que le retour refoule du gasoil, puis resserrer le raccord.
 - ✓ Desserrer les écrous de fixation des tuyauteries des injecteurs pour les purger au cours de l'entraînement du moteur ;

Utiliser une batterie et assurer le serrage des cosses de batterie

Après la réalisation de ces étapes nous étions prêts pour le démarrage on a seulement besoin de mettre l'accélérateur au position de plein charge pour injecter la quantité maximum du combustible pour dégager l'air rapidement et éviter de la batterie.

La clé du démarrage du moteur possède trois position :

- Position initiale (position de repos) ;
- Première position, on a le démarrage de la pompe d'alimentation, l'ouverture de l'électrovanne, et fonctionnement des bougies de préchauffage (jusqu'à température de définie puis il déclenche) ;
- Démarrage du démarreur.

Bien sur le démarreur est accouplé avec le volant moteur, donc la rotation du démarreur implique la rotation du moteur. Le moteur commence à tourner, l'électrovanne est ouverte et la pompe d'injection alimente les injecteurs et après deux essais de démarrage le circuit d'alimentation est plein de gasoil et le moteur démarre.

Attention ne pas oublier l'accélérateur dès que le moteur est en marche vous devrez mettre l'accélérateur au position de relent. Puis resserré les écrous de tuyauteries d'injecteurs.

Deux importants points à prendre en considération lors de la première utilisation d'un moteur [53] :

- Ne faites pas tourner le moteur à pleine charge durant les premières 5 à 10 heures de fonctionnement ;
- Vidangez l'huile après les 5 à 10 premières heures de fonctionnement.

La période de rodage d'un moteur est très importante pour la vie globale et la durabilité du moteur ; le rodage consiste à faire fonctionner un moteur neuve ou des pièces neuves, en prenant des précautions, pour que les pièces s'adaptent parfaitement les unes aux autres, que ce soit le moteur ou toutes les autres pièces en mouvement. Il est cependant très important d'effectuer la vidange d'huile de rodage. Après les premières 5 à 10 heures de fonctionnement, l'huile doit être vidangée pour enlever les aspérités ayant éclaté dans les roulements des composants du moteur et la paroi du cylindre.

Donc la réparation est réussite et moteur Volkswagen D1600 fonctionne correctement est prêt pour l'utilisation. Voici ci-dessous des photos du moteur Volkswagen avant (Figure II.70) et après (Figure II.71) la réparation.

II.6. Montage des vidéos de réparation des moteurs TD111 et Volkswagen

Pour le montage des vidéos on a utilisé le logiciel de montage Filmora Vidéo editor (Figure II.72) qui est simple à utiliser. Elle permet de créer des films avec un rendu final incroyable. Filmora donne la possibilité de montage de vidéos avec des transitions élémentaires et des effets spéciaux magnifiques.

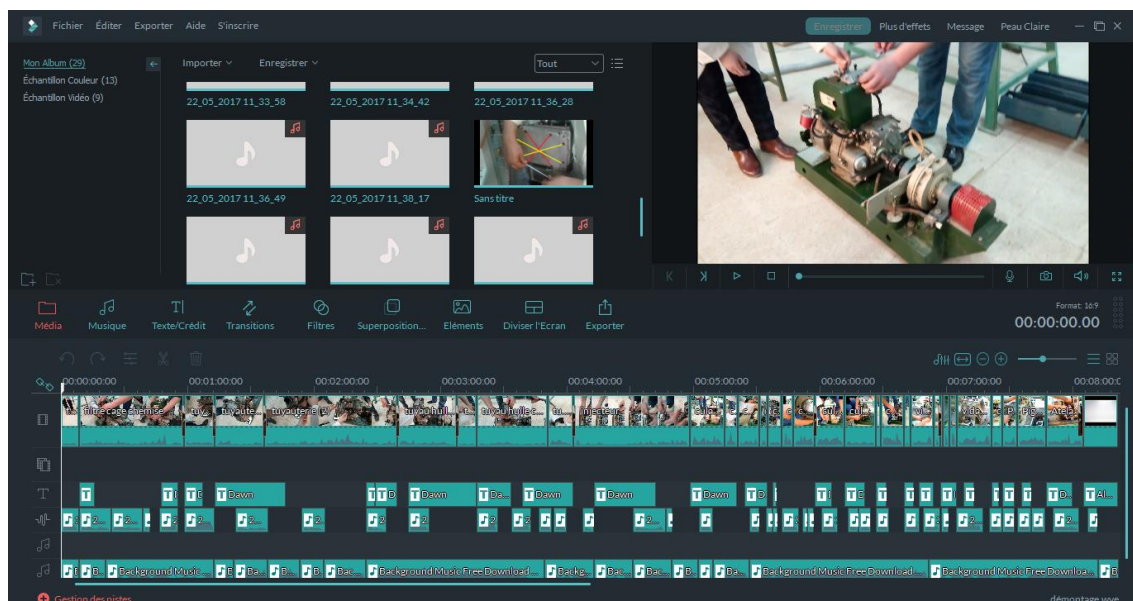


Figure II.72 : Interface de logiciel de montage Filomora vidéo editor.



Figure II.70 : Moteur Volkswagen D1600 avant réparation.



Figure II.71 : Moteur Volkswagen D1600 après réparation.

Conclusion

La maintenance joue un rôle important pour la continuité de rentabilité des machines et éviter que ces derniers soient endommagés.

Dans ce chapitre nous avons présentés les différentes étapes de réparation des moteurs TD111 et Volkswagen D1600 qui se trouvent au niveau du laboratoire des moteurs de l'université de M'sila et qui étaient en panne. Pour la réparation de ces moteurs on a suivi les normes utilisées dans l'industrie, en commençant par le diagnostic, le démontage, le nettoyage, l'expertise, le remontage et enfin les essais de démarrage.

Pour les deux moteurs, on a trouvé les pannes suivantes :

- Mauvaise étanchéité au niveau des soupapes ;
- Injecteur totalement obstrué.

Pour le moteur Volkswagen D1600 :

- Circuit de refroidissement complètement obstrué par la rouille et le calcaire ;
- La pompe à eau est bloquée ce qui a bloqué le vilebrequin aussi.

Lors de l'expertise des pièces des deux moteurs on a remarqué que ces derniers sont en bon état.

Pour plus de détail, ce chapitre est jointé par un DVD qui contient les différentes phases de réparation de ces moteurs. Ces vidéos sont réalisées après le traitement de plus de 30 heures (plus 150 Gb) à l'aide du logiciel Filmora vidéo editor.



CHAPITRE III

**Logiciel de diagnostic des pannes des moteurs
diesels**

III.1. Introduction

Puisque le monde est en avancement technologique, l'outil informatique et la programmation jouent un rôle important de nos jours. Ces dernières années le diagnostic des pannes est assuré par des programmes spécifiques à chaque type de moteur qui diagnostique le moteur et détermine ses pannes.

Ce chapitre traite les pannes les plus fréquentes des moteurs diesels, ainsi, un logiciel composé de deux parties, la première partie consacrée au diagnostic des pannes des moteurs diesels et la deuxième aux généralités sur les moteurs diesels a été développé pour la première fois au niveau du département de génie mécanique de l'université de M'Sila.

III.2. Diagnostique

Le diagnostic est le processus d'évaluation d'un état de fonctionnement donné. Si cet état est comparé avec un état de référence, il s'agit d'évaluation de dérive de fonctionnement.

Il intègre différentes étapes [54] :

- Détection de l'état de fonctionnement ;
- Evaluation des causes de l'occurrence de cet état ;
- Identification, analyse et localisation des causes ;
- Décision d'action pour modifier cet état.

L'objet du diagnostic peut varier :

- Diagnostic de bon ou du mauvais fonctionnement ;
- Diagnostic de panne ou de défaillance ;
- Diagnostic de performance ou de non-performance ; ..., etc.

Les moyens pour le contrôle des dérives permettent de maîtriser le risque associé à un état de fonctionnement donné sur deux plans :

- En réduisant l'occurrence de cet état ;
- En réduisant les conséquences de cet état, les conséquences pouvant être exprimées non seulement en termes de sécurité, mais également en termes de charge de travail, de qualité, de production, de performance, ..., etc.

À partir de la fin du dernier siècle, les constructeurs automobiles ont commencé à intégrer massivement de l'électronique dans leurs moteurs, en particulier à travers l'utilisation d'un calculateur de contrôle moteur (ECM : Engine Control Module) (Figure III.1) destiné à gérer le fonctionnement du moteur et à diagnostiquer ses défaillances.

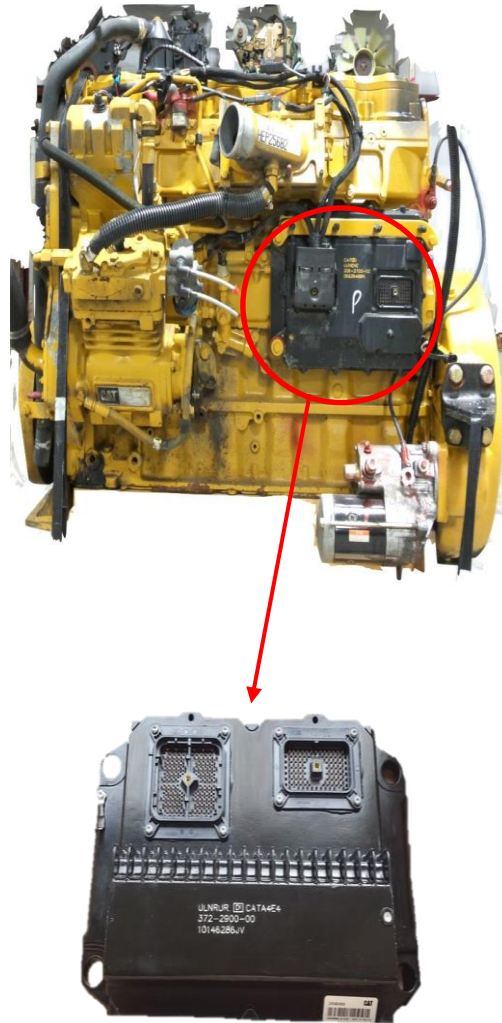


Figure III.1 : Calculateur de contrôle moteur(ECM) [55].

III.3. Pannes des moteurs Diesels

On peut définir une panne comme l'arrêt accidentel du fonctionnement ou diminution du rendement d'une machine due à la défaillance d'un ou de plusieurs organes du moteur. Dans un moteur diesel on peut trouver une variante de pannes selon la construction, le type de combustible, le climat de la zone de fonctionnement, exploitation (permanent ou non), type de maintenance..., etc.

Ci-dessous, on donne un tableau qui mentionnent les pannes les plus fréquentes rencontrées dans les moteurs diesel et leurs causes, de plus, des redondances de ces causes pour les différentes pannes rencontrées.

Tableau III.1 : Pannes et causes des moteurs diesels.

Pannes de démarrage										
Rates moteur										
Surchauffe du moteur										
Manque de puissance du moteur										
Tous les cylindres ne participent au fonctionnement du moteur										
Pression d'huile anormale										
Consommation excessive d'huile										
Fumées excessives										
- Fumée bleue										
- Fumée blanche										
- Fumée noire										
Cause										
♦										Câbles de circuit de démarrage ou du circuit électrique desserrés ou oxydés
♦										Démarrreur défectueux ou pignon du démarreur n'engrène pas
♦	♦		♦					♦	♦	Jeu de soupapes incorrect
♦	♦		♦	♦						Tuyauterie d'injection non étanche
		♦								Conduite de purge encrassée (échangeur de température liquide de refroidissement)
♦								♦		Bougies de préchauffage défectueuses
♦	♦	♦	♦	♦				♦	♦	Injecteur défectueux
♦	♦		♦	♦						Présence d'air dans le système d'alimentation
♦	♦		♦	♦						Filtre à combustible/filtre séparateur encrassé
		♦								Filtre à huile défectueux
♦					♦	♦				Qualité ou type incorrectes de l'huile de lubrification moteur
♦	♦		♦					♦		Mauvaise qualité du combustible
		♦								Présence d'air dans le circuit de refroidissement

Pannes démarrage									
Rates moteur									
Surchauffe moteur									
Manque de puissance du moteur									
Tous les cylindres ne participent au fonctionnement du moteur									
pression d'huile anormale									
Consommation excessive d'huile									
Fumées excessives									
- Fumée bleu									
- Fumée blanche									
- Fumée noire									
Cause									
♦								♦	Température limite de démarrage trop basse
♦			♦						Levier arrêt moteur en position stop
		♦			♦				Niveau d'huile trop bas
		♦	♦			♦	♦		Niveau d'huile trop haut
					♦	♦	♦		Moteur en position trop inclinée
♦									Mettre le levier ?? en position milieu
		♦	♦					♦	Filtre d'air encrassé
		♦	♦					♦	Turbocompresseur d'échappement défectueux
		♦	♦					♦	Indicateur ou interrupteur de colmatage du filtre d'air défectueux
			♦					♦	manque d'étanchéité de raccordement
		♦	♦					♦	Conduite d'air d'admission non étanche
		♦							Pompe d'eau de refroidissement non étanche
			♦					♦	Refroidissement d'air de suralimentation encrassé
		♦							Echangeur de température de liquide de refroidissement encrassé
♦	♦	♦	♦	♦					Courroie arrachée ou lâchée (Pompe à combustible entraîné par courroie)
	♦	♦	♦						Réchauffement de l'air de refroidissement / recyclage thermique
♦									Batterie défectueuse ou non chargée

III.4. Borland Delphi 7

Borland Delphi est un environnement de programmation visuel orienté objet, permettant de développer des applications sous Windows. Il représente la suite logique de la famille turbo Pascal avec ses nombreuses versions (précisément le pascal objet). Delphi est un outil moderne, puissant, faisant appel à une conception visuelle des applications, à la programmation orientée objet, a une bibliothèque de composants très riche (la VCL : Visual Components Library), aux fichiers DLL (Dynamics Link Library) et API (Application Programmant Interface) de Windows ; Delphi se classe comme l'un des meilleurs environnements de développement rapide des applications (RAD) dans le monde informatique. Delphi, est aussi un produit qui évolue avec le temps. Chaque nouvelle version possède son lot de nouveautés (Figure III.2) [56].

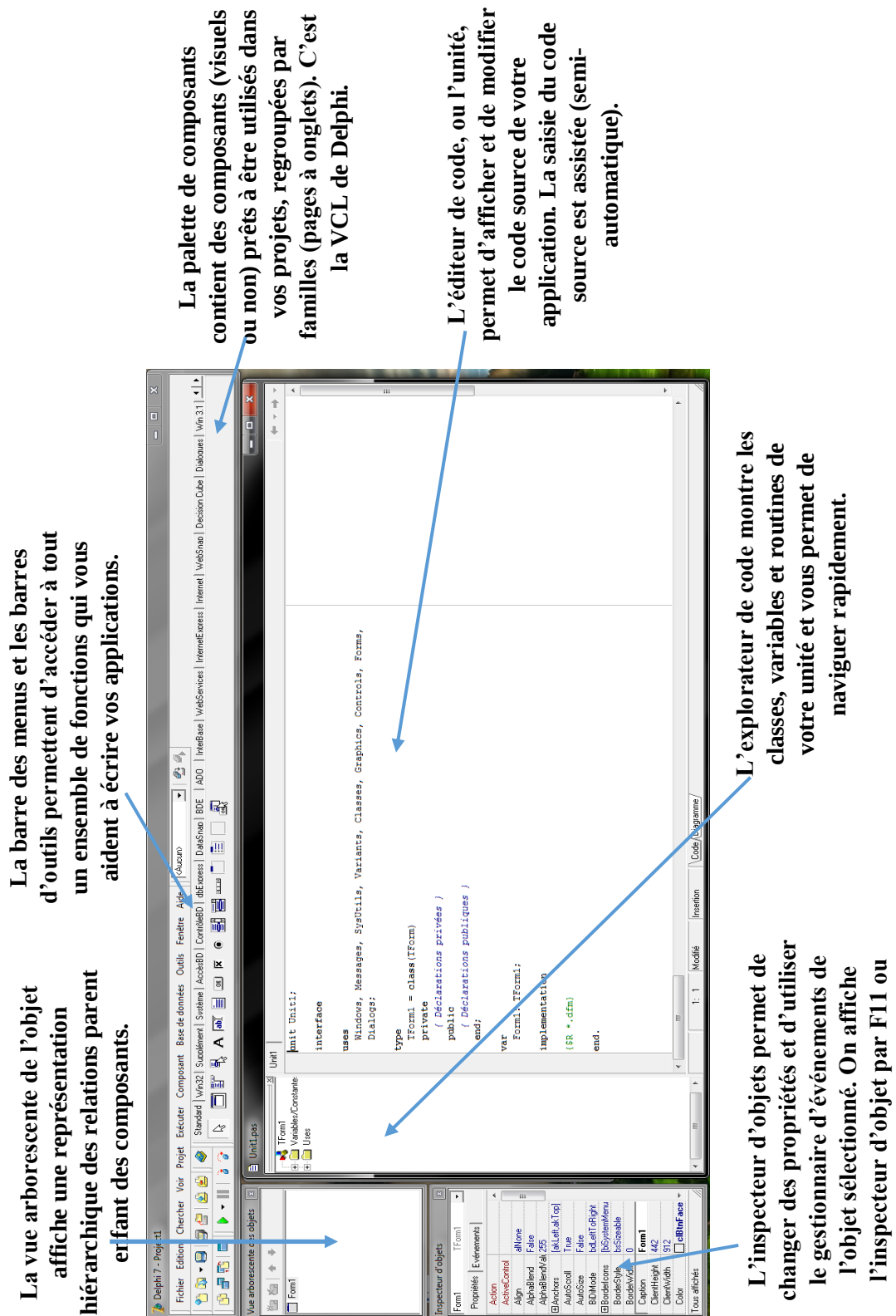


Figure III.2 : Page d'accueil de Delphi 7[56].

III.5. Logiciel de diagnostic des pannes des moteurs diesels (DPMD 1.0)

Comme son nom l'indique, le logiciel de diagnostic des pannes des moteurs diesels (DPMD 1.0) (Figure III.3) que nous avons développé, a pour but de diagnostiquer et de déterminer les pannes des moteurs diesels à l'aide d'une base de données intégrée dedans. Il a la prétention de résoudre la multitude de pannes possibles sur un moteur diesel (Figure II.4). En plus, une quantité importante d'information concernant les moteurs diesels y est insérée (Figure II.5).

Les informations contenues dans la partie diagnostic de ce logiciel sont issues de l'expérience de plusieurs années de travail de mécaniciens professionnels, au sein de la société de maintenance des équipements industriels de M'Sila (MEI), et celles de la partie généralités sur les moteurs diesels est le fruit d'une synthèse bibliographique (Figure II.6).

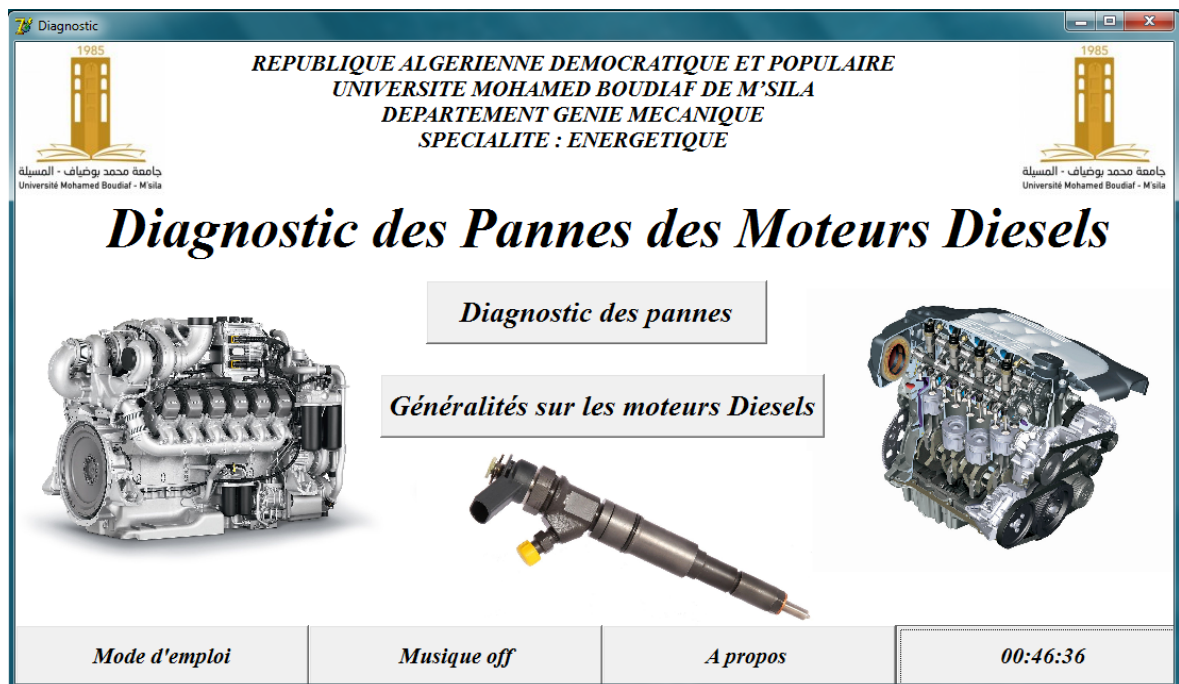


Figure III.3 : Accueil de la première version du logiciel : diagnostic des pannes des moteurs diesels (DPMD 1.0) développé.

Le développement du logiciel est peu compliqué (Figure III.7). Il nous a pris du temps pour maîtriser ses commandes car une simple erreur peut empêcher l'exécution du programme. L'éditeur code du logiciel (Figure III.8) contient plusieurs commandes (button, label, text, image, sndsoundplay, show, hide., etc.).

Le logiciel nous montre les causes probables de nos pannes avec photos pour faciliter aux utilisateurs non connaisseurs des pièces défectueuses (Figure II.9), de les repérer et de les contrôler.

Le logiciel est aussi doté d'une musique (effet sonore) qui accompagne son utilisateur s'il le veut (Figure III.3) en cliquant sur musique off ou on. Une voix d'un des développeurs de ce logiciel (M. Ibrahim Ben Jedda) vous guide en adoptant la technique de communication entre l'utilisateur- et l'interface (Figure II.10), afin de faciliter l'exploration de ce logiciel.



Figure III.4 : Sommaire des pannes.

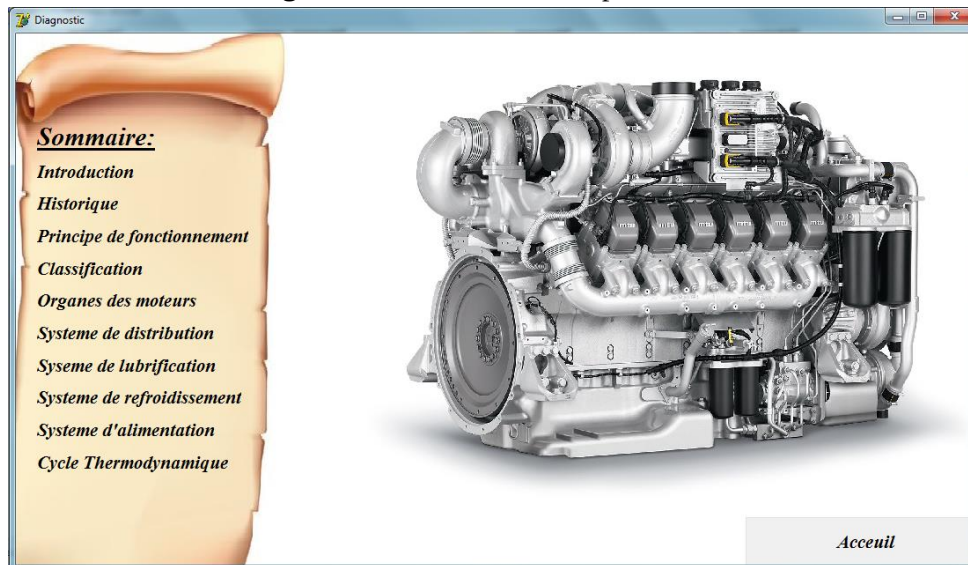


Figure III.5 : Sommaire des généralités sur les moteurs Diesel.



Figure III.6 : Disposition des cylindres.

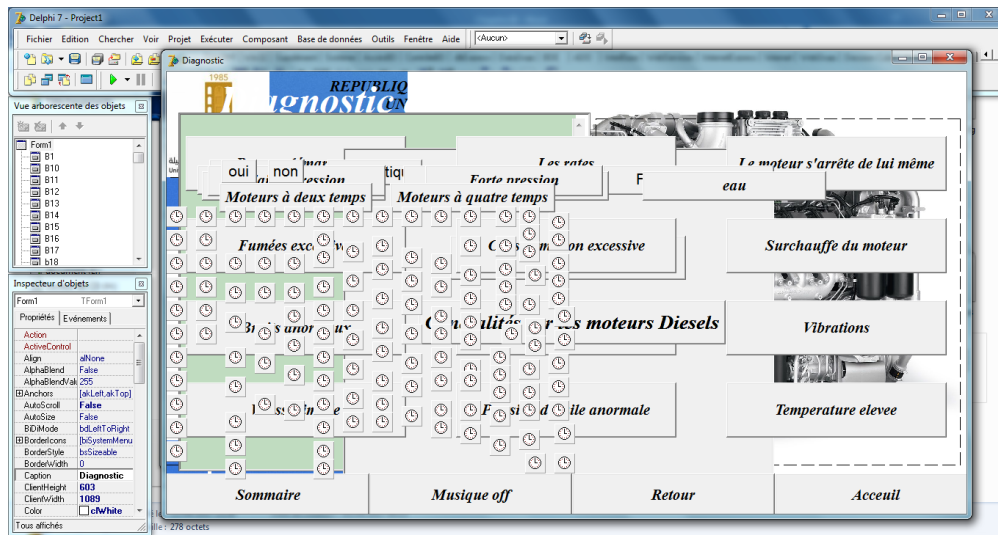


Figure III.7 : Vue du concepteur de la fiche du logiciel (DPMD 1.0).

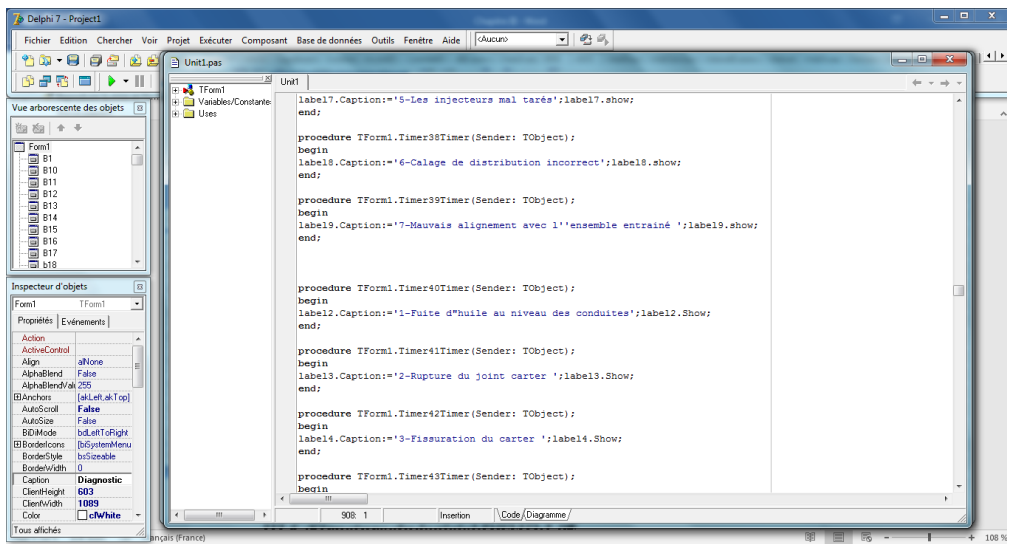


Figure III.8 : Vue de l'éditeur code du logiciel (DPMD 1.0).



Figure III.9 : Causes probable des pannes de démarreur (DPMD 1.0).

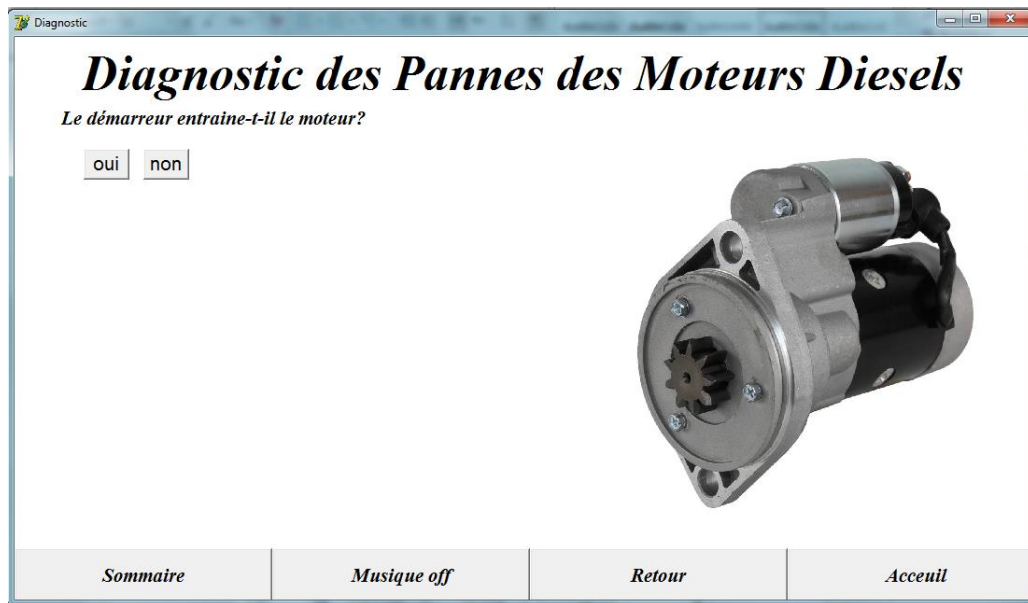


Figure III.10 : Communication entre l'utilisateur et l'interface (DPMD 1.0).

III.6. Structure du logiciel DPMD 1.0

Le logiciel DPMD 1.0 a une structure de construction bien définie comme on le voit ci-dessous on a la structure et les options qui se trouve dans la page d'accueil (Figure III.1). La page d'accueil permet l'entrée en partie diagnostic ou généralité plus la commande de l'effet sonore et vous trouverez le but du logiciel.

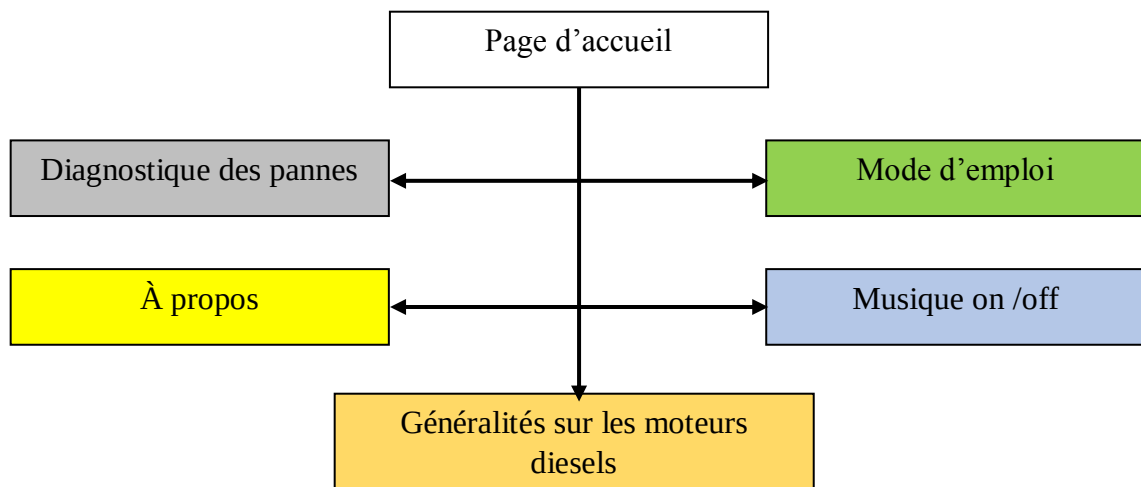


Figure III.11 : Options de la page d'accueil.

Ci-dessous (Figure III.12) la liste des pannes les plus fréquentes pour un moteur diesel, qu'on a classifié par des simples méthodes pour faciliter à l'utilisateur de manipuler le logiciel et déterminer son panne ou les causes probables.

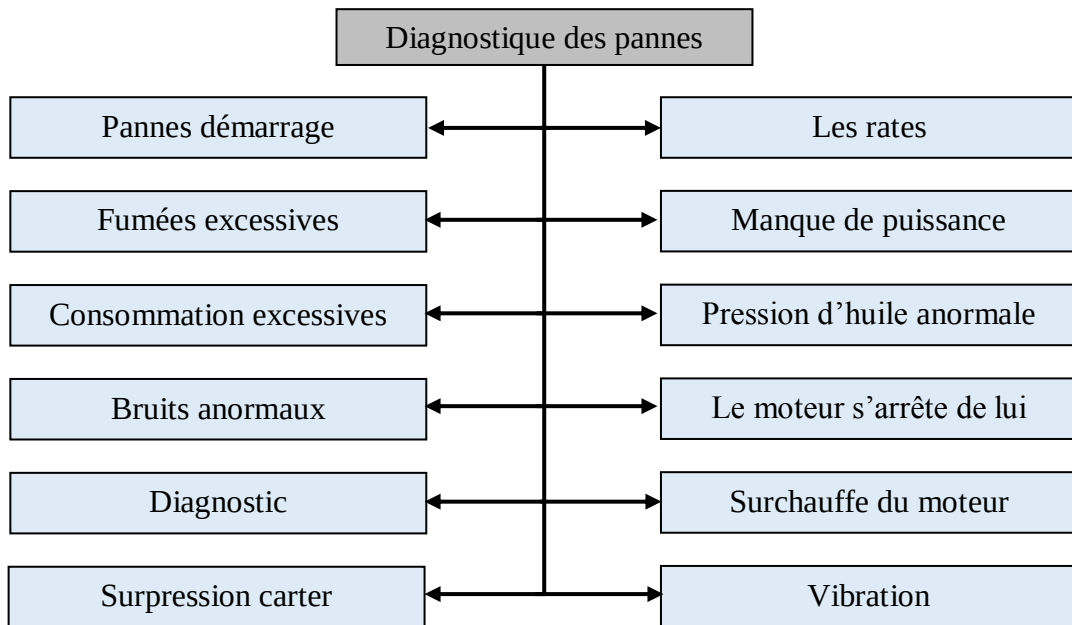


Figure III.12 : Sommaire des pannes.

Ci-dessous vous trouverez le sommaire des généralités sur le moteur Diesel qui sera utile pour les gens qui n'ont pas des informations sur le moteur diesel (Figure III.13).

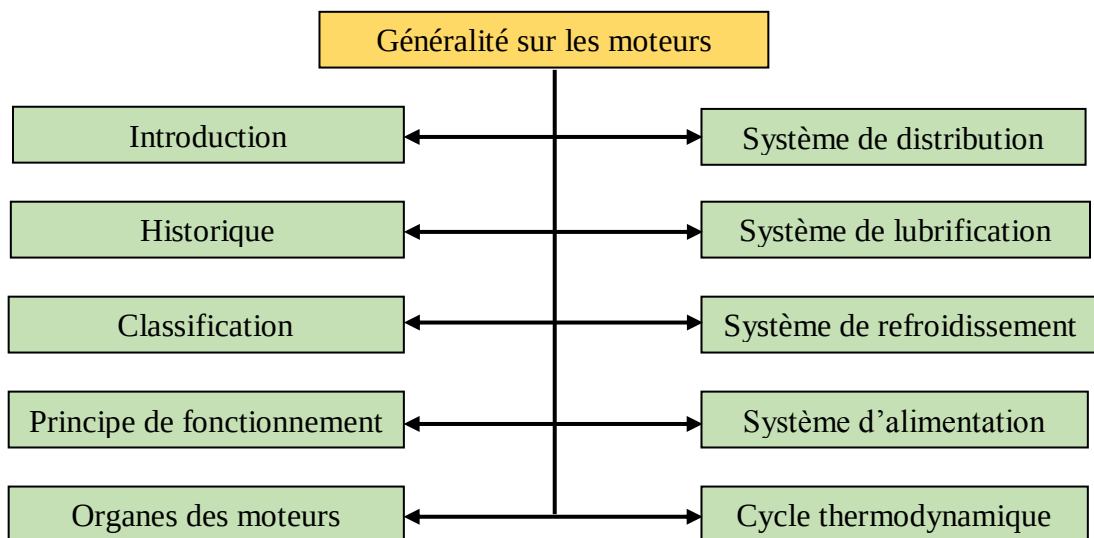


Figure III.13 : Sommaires des généralités sur moteur diesel.

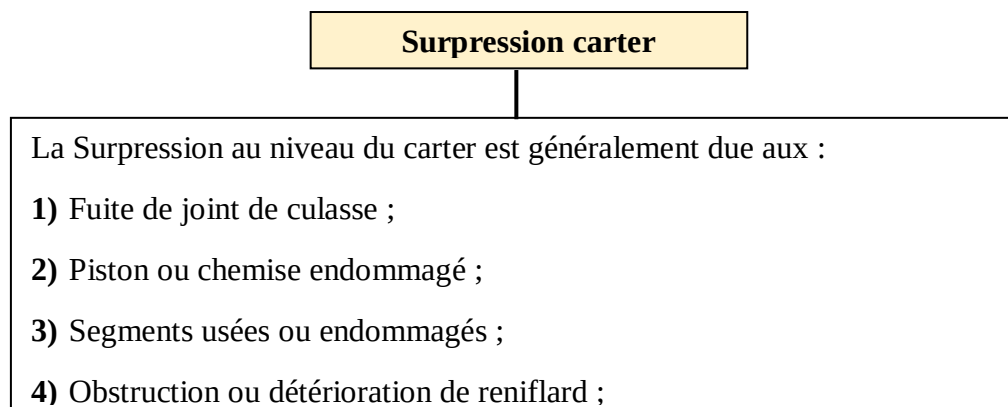


Figure III.14 : Organigramme des pannes dues à la surpression dans le carter.

La figure III.14 précédente vous montre les causes qui peuvent engendrées une surpression au niveau du carter qui provoque de refoulement d'huile au niveau de reniflard et conduite de jauge d'huile, et dans le cas de grandeur de pression élevé elle peut engendrer des fuites au niveau de joint Spi ou joint carter.

Ci-dessous dans la figure III.15 vous trouverez les causes dues au rate moteur (instabilité de rotation du vilebrequin).

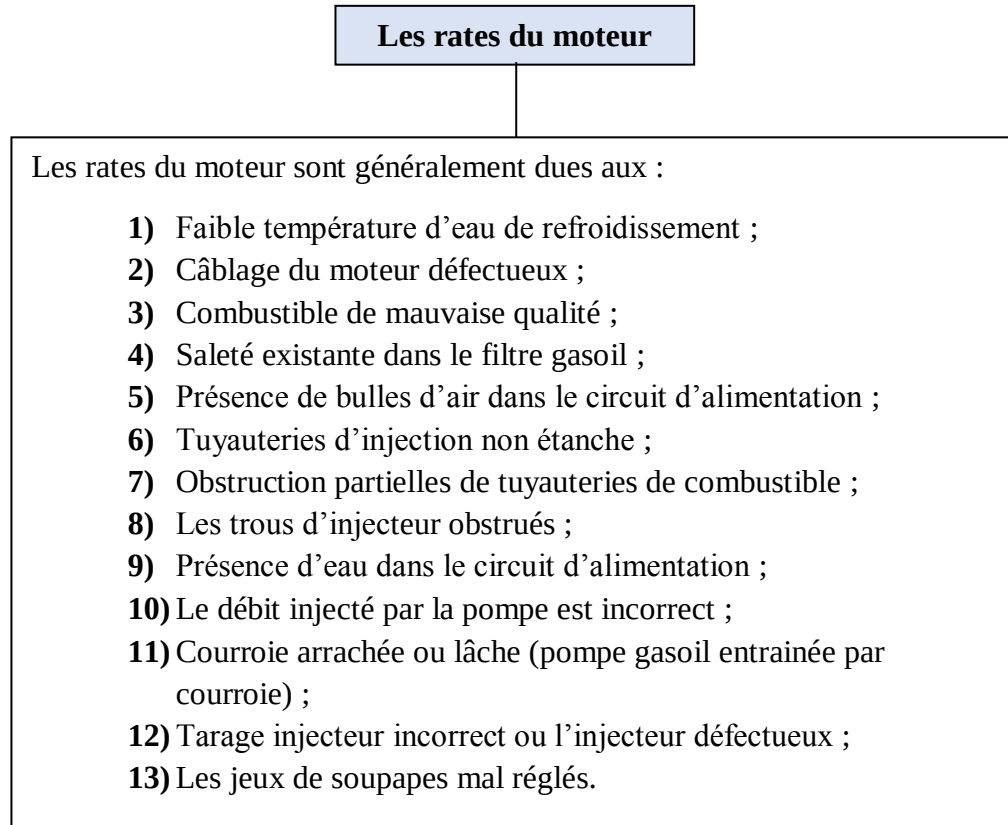


Figure III.15 : Organigramme des rates moteurs

La figure III.16 représente les causes qui peuvent provoquer des bruits anormaux au niveau du moteur, ces bruits indiquent que votre moteur contient un default à réparer sinon il peut être endommager

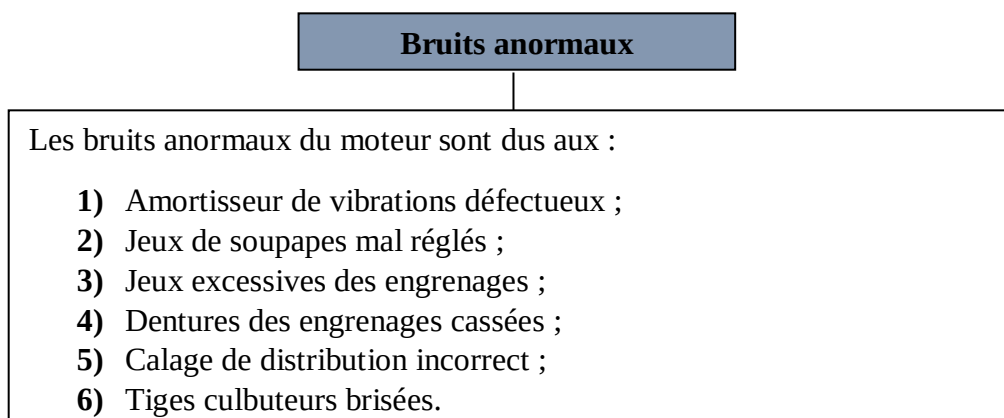


Figure III.16 : Organigramme des pannes due au Bruits anormaux.

La figure III.17 représente les causes qui peuvent provoquer un arrêt non programmé du moteur

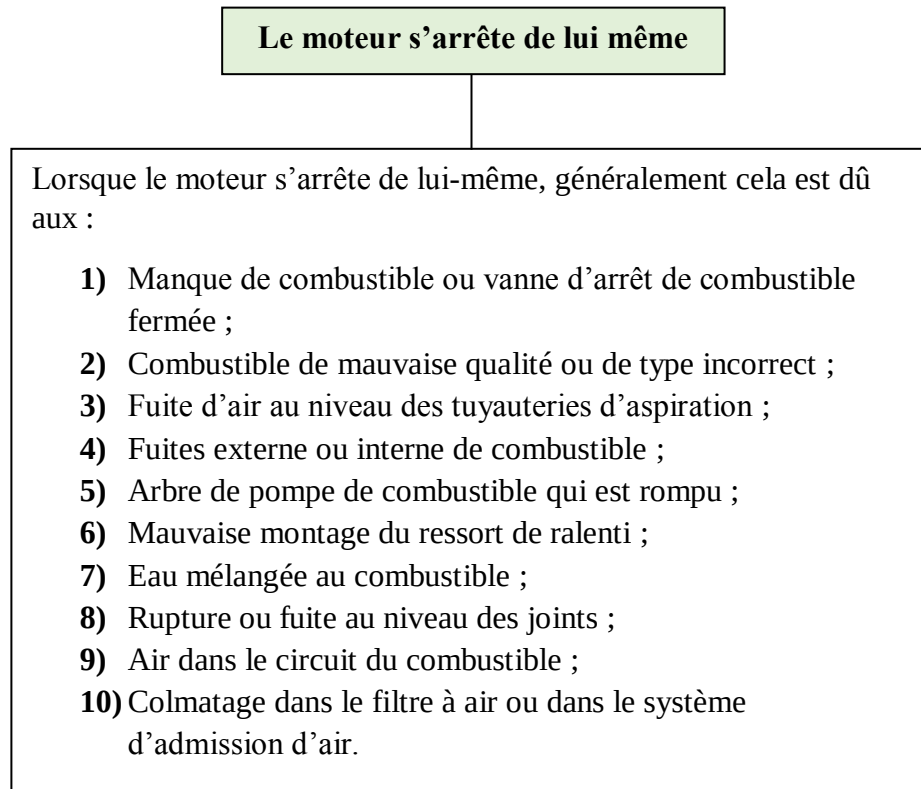


Figure III.17 : Organigramme d'arrêt automatique du moteur.

La figure III.18 suivante vous montre les causes de manque de puissance d'un moteur (diminution du rendement)

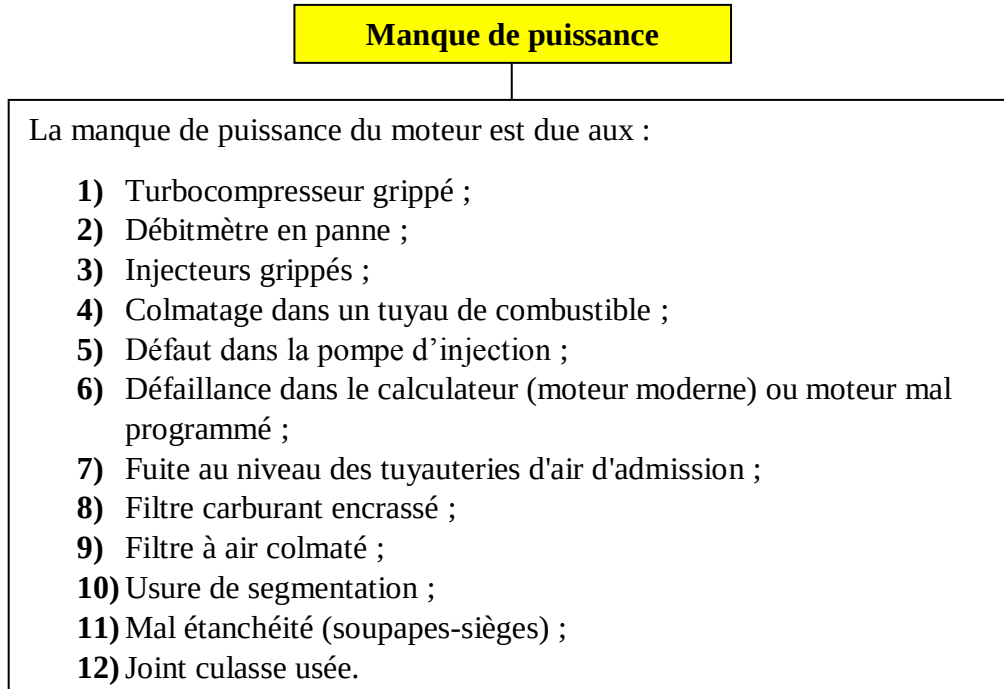


Figure III.18 : Organigramme des pannes due au manque de puissance.

La figure III.19 contient les causes probables qui peuvent empêcher le moteur de s'entraîner et fournir du travail.

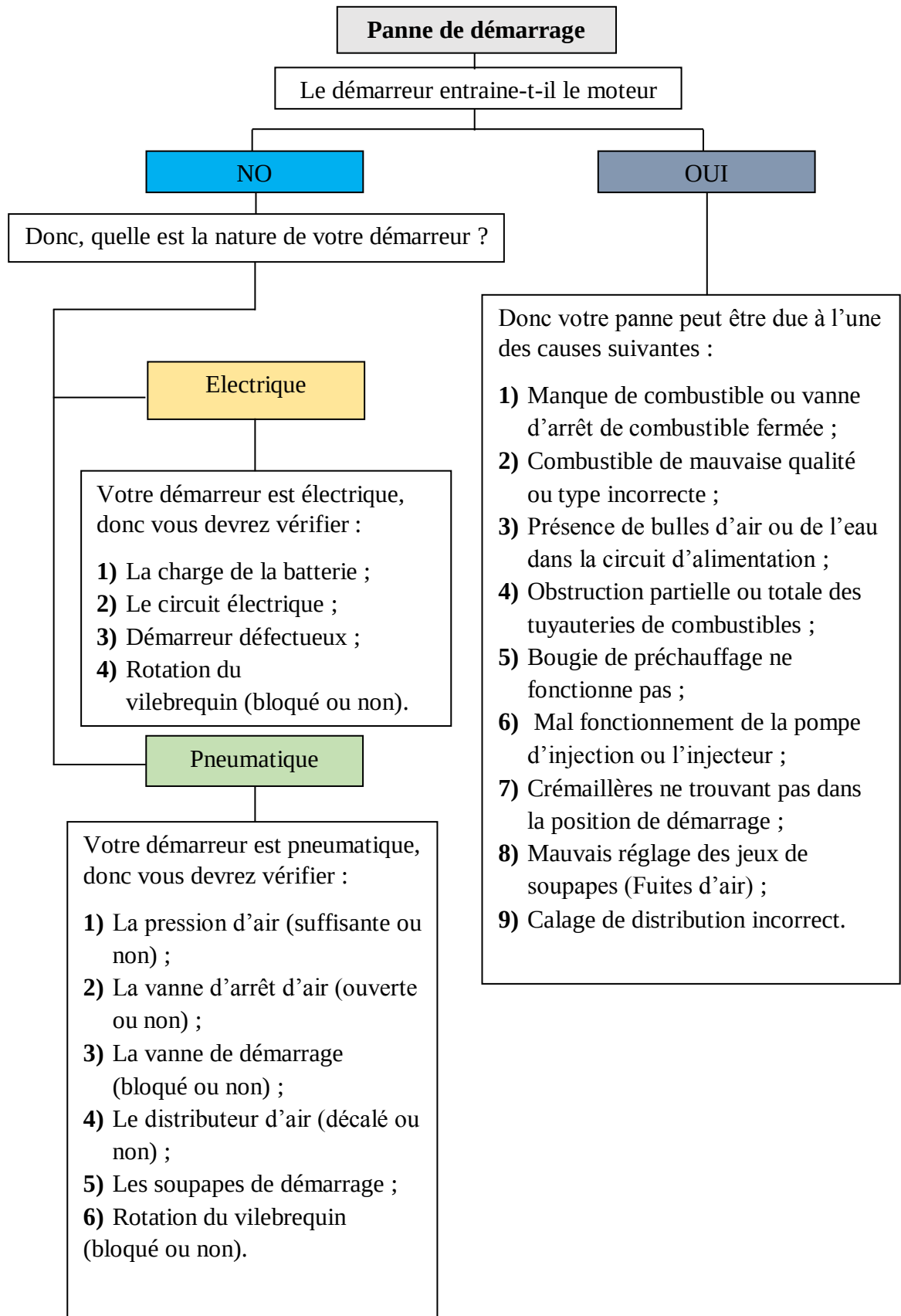


Figure III.19 : Organigramme des pannes de démarrage.

La figure III.20 contient les causes qui peuvent provoquer la sortie des fumées excessives du conduit d'échappement qui sont généralement dues à une combustion incomplète ou la présence d'une substance lors de la combustion.

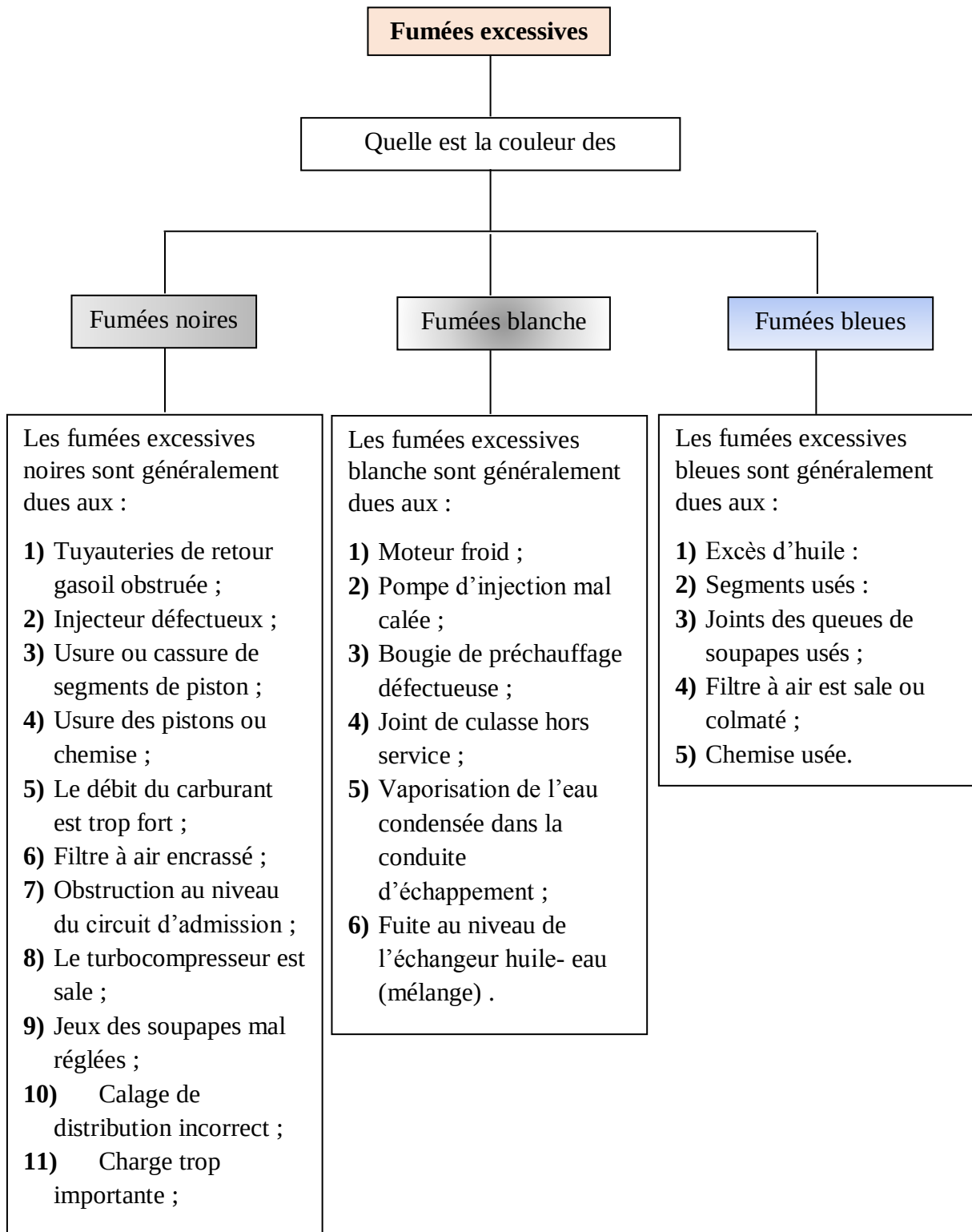


Figure III.20 : Organigramme des pannes due au couleur des fumées.

La figure III.21 contient les causes qui peuvent causer une augmentation anormale de la température du moteur et qui peut endommager ce dernier

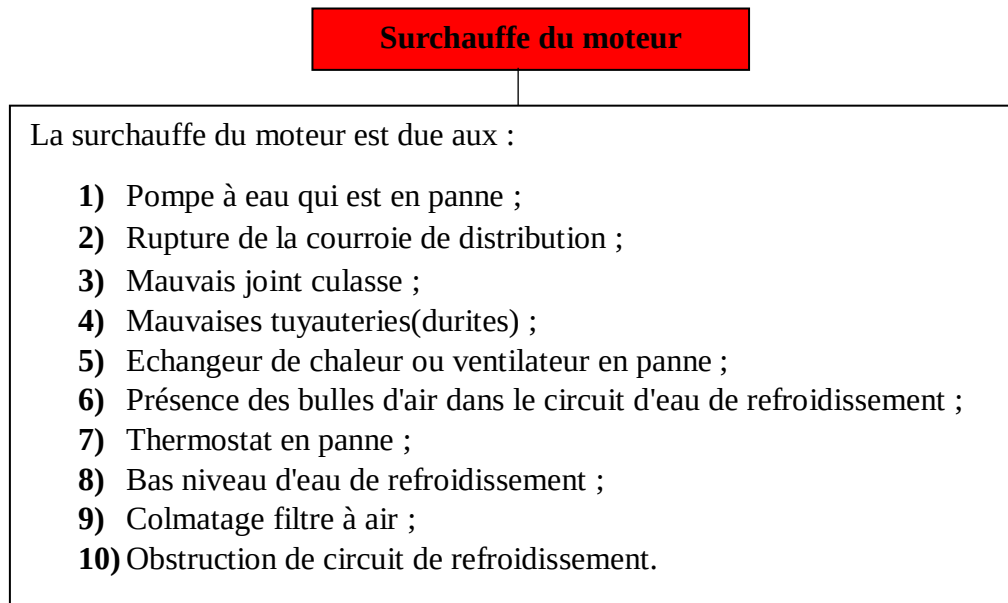


Figure III.21 : Organigramme des pannes de surchauffe moteur.

La figure III.22 vous montrent les causes qui peuvent générer des vibrations au niveau du moteur et si ses vibrations ne sont pas éliminées elles peuvent augmenter les jeux entre les différents composants du moteur et provoquer le desserrage des vis.

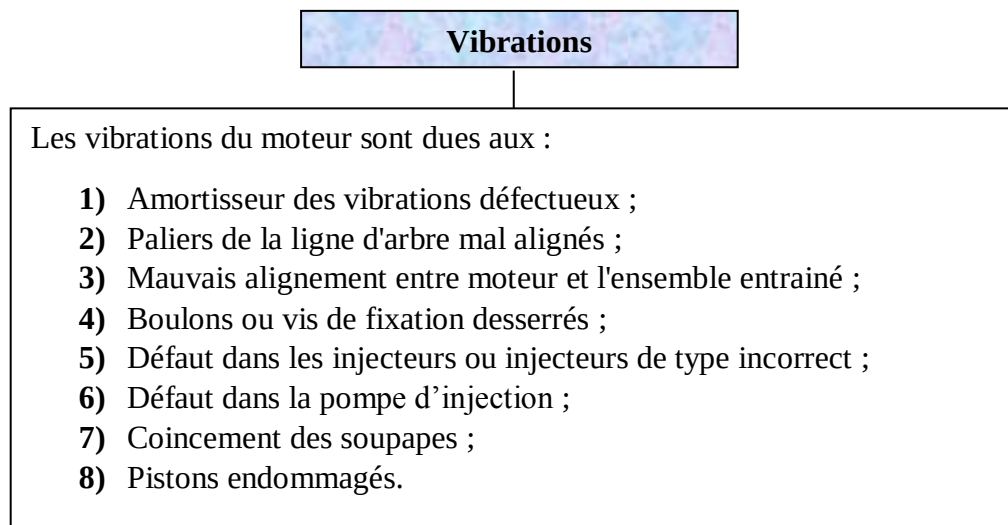


Figure III.22 : Organigramme des pannes due au vibrations

La figure III.23 contient les causes qui peuvent provoquer une consommation excessive (consommation des quantités plus que la normale soit en eau, huile ou combustible).

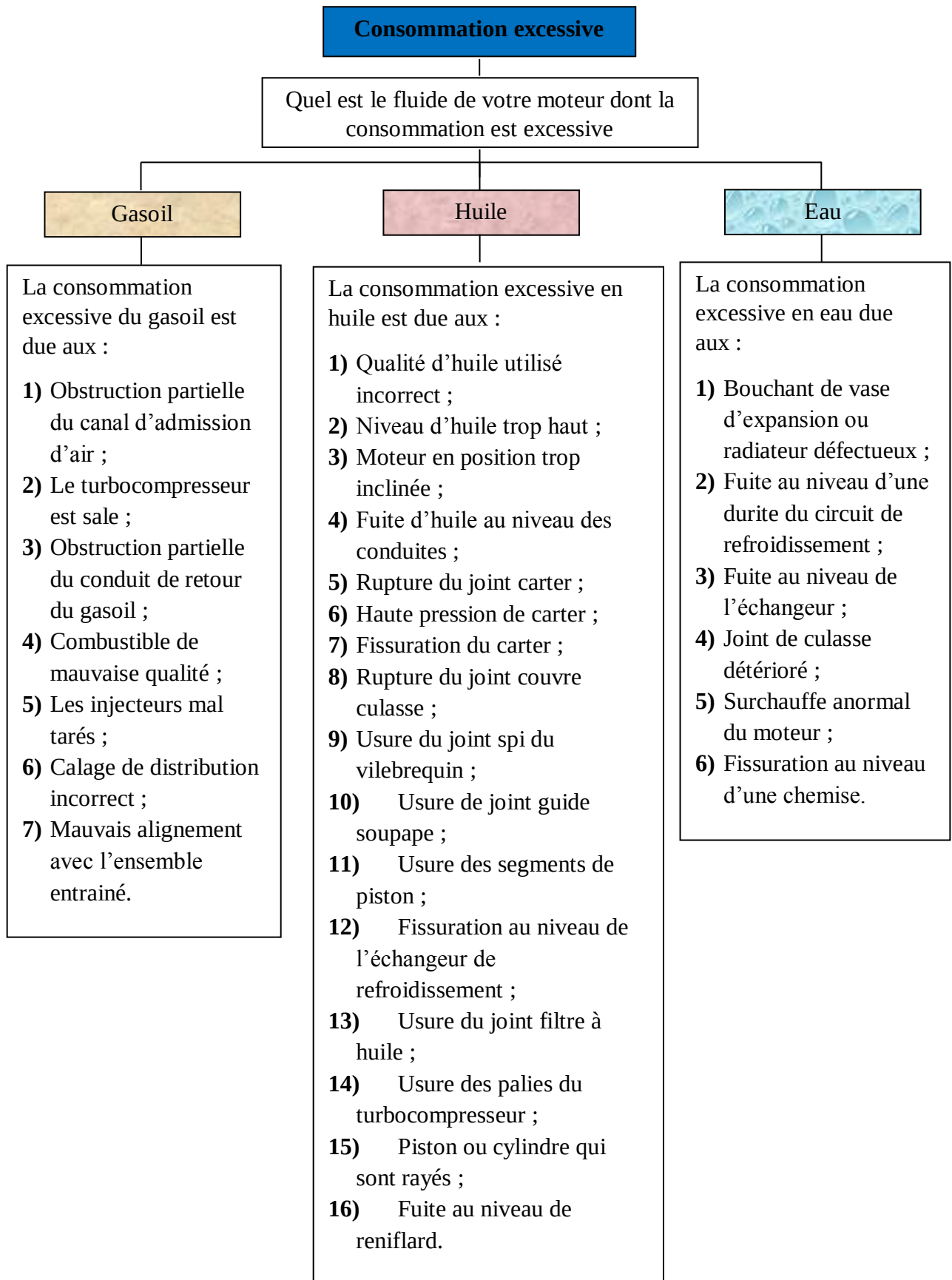


Figure III.23 : Organigramme des pannes due au consommation excessive.

La figure III.24 contient les causes qui peuvent provoquer une surpression (détruit les joints d'étanchéité) ou dépression (graissage insuffisant) dans le circuit de lubrification du moteur.

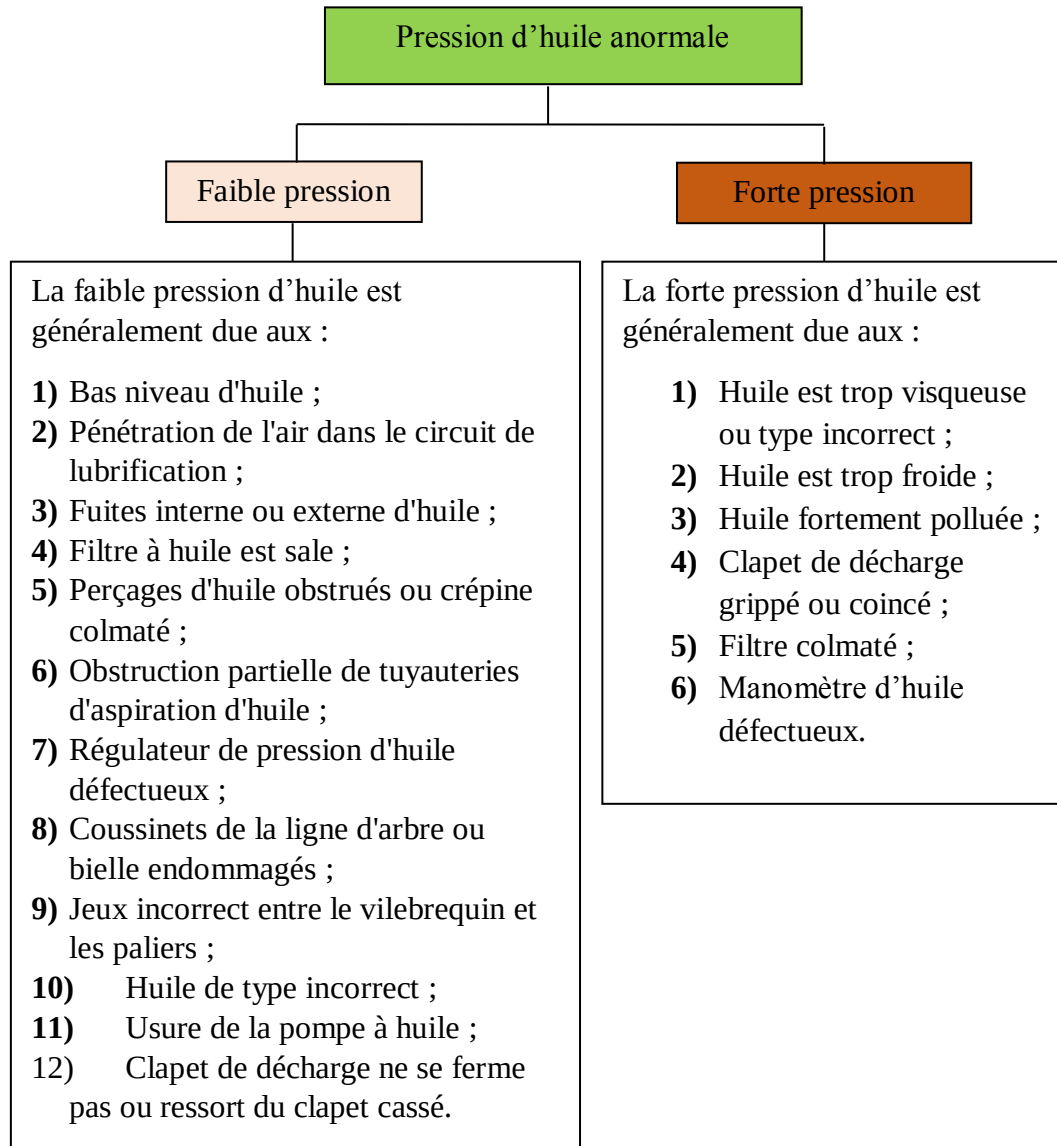


Figure III.24 : Organigramme des pannes due au pression d'huile anormale.

Conclusion

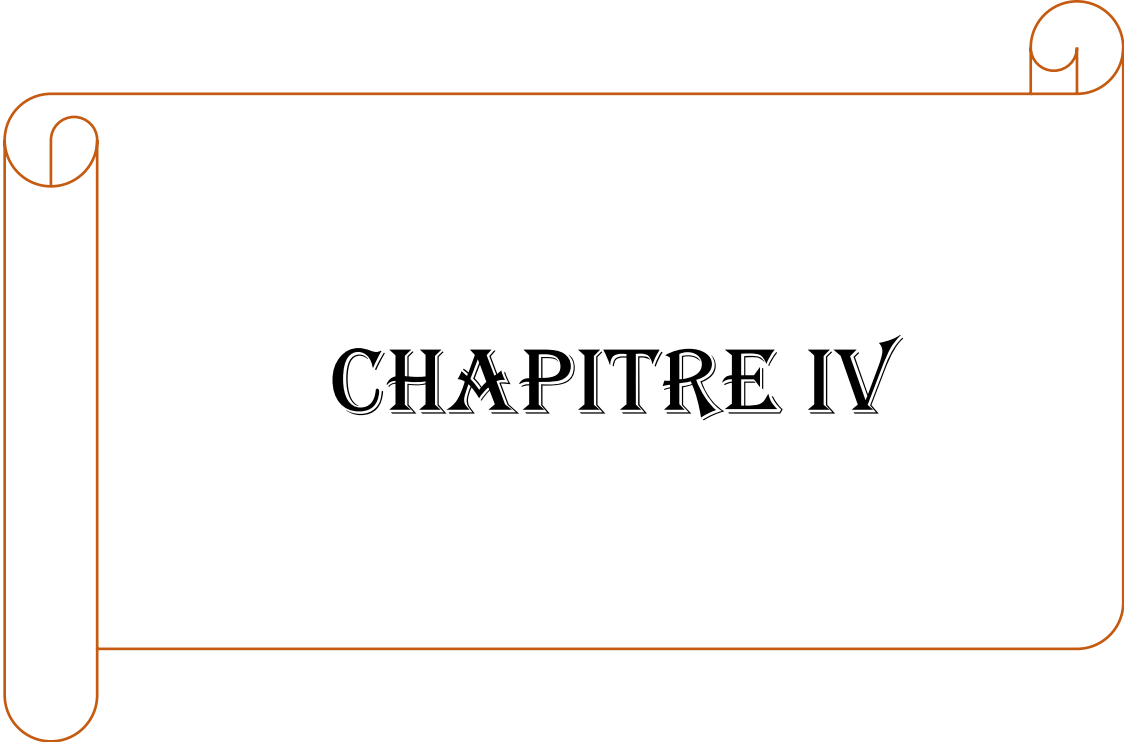
Le diagnostic est une phase importante de la maintenance corrective. De sa pertinence et de sa rapidité dépend l'efficacité de l'intervention. En général la majorité des pannes sont faciles à identifier. Il est alors nécessaire de procéder à un diagnostic afin de rechercher cette cause. Cette recherche n'est pas aléatoire car pour être efficace, elle doit s'appuyer sur une méthode.

Pour cela on a conçu ce logiciel qui diagnostique les pannes les plus fréquentes de la majorité des moteurs Diesel. On a collecté les informations concernant le diagnostic des moteurs diesels de ce logiciel à partir des données fournies par des mécaniciens professionnels de la société de maintenance des équipements industrielle de M'Sila lors d'un stage pratique au sein de cette dernière.

Le logiciel développé est composé de deux parties ; une contient des généralités sur les moteurs diesels et l'autre, est consacrée au diagnostic des pannes relatives à ce genre de moteur. Ce logiciel possède une interface graphique communiquant par voix vive avec son utilisateur et ce pour un meilleur profit.

En outre, il existe d'autres pannes qu'on n'a pas citées, car elles apparaissent sur des versions spécifiques (chaque version à ces propres pannes).

Le logiciel est sur le DVD jointé avec la mémoire.

A decorative border in a light brown color, resembling a scroll. It starts with a small loop at the top right, goes down, then left, then down again, ending in a larger loop at the bottom left.

CHAPITRE IV

**Réalisation et simulation d'écoulement dans un
pot d'échappement**

IV.1. Introduction

Le pot d'échappement, ou silencieux est un des organes du moteur qui sert à évacuer les gaz de combustion. Il est constitué d'un ensemble d'éléments collectant les gaz d'échappement en sortie des cylindres et évacuant ceux-ci après avoir canalisé les gaz de combustion, stabilisé la pression de sortie des cylindres, atténué le bruit de l'échappement, et épuré et filtré les gaz avant de rejeter le résidu dans la nature. Mais on ne sait pas ce qui se passe à l'intérieur du pot d'échappement pour cela une simulation sera utile pour comprendre ce qui se passe à l'intérieur.

Ce chapitre traite une réalisation de pot d'échappement pour le moteur TD111 et une simulation des gaz d'échappement lors de leur passage par le pot d'échappement de plus le transfert thermique par conduction dans le pot d'échappement. On a utilisé SolidWorks pour créer le modèle, puis SolidWorks Flow Simulation pour simuler l'environnement fluide de l'objet et les effets thermiques.

IV.2. Logiciel de conception et simulation (SolidWorks 2015)

Le logiciel de CAO SolidWorks est une application de conception mécanique 3D paramétrique qui permet d'esquisser rapidement des idées, d'expérimenter des fonctions et des côtes afin de produire des modèles et des mises en plan précises des pièces (Figure IV.1) [57].

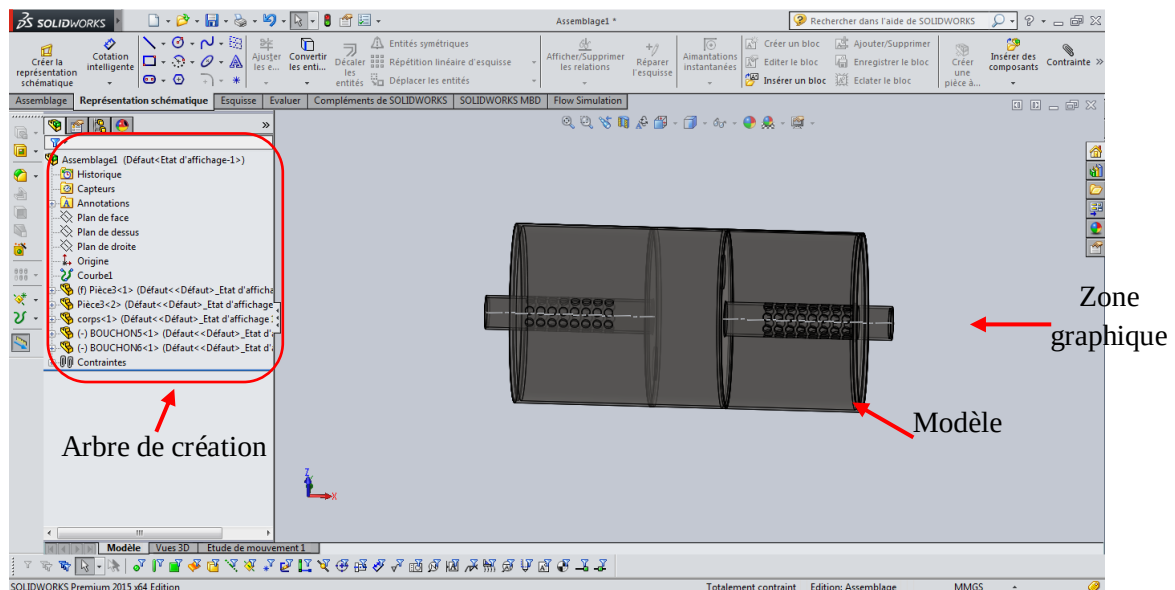


Figure IV.1 : Interface SolidWorks 2015.

- **SolidWorks Flow Simulation**

SolidWorks Flow Simulation est un logiciel d'analyse des écoulements de fluide et du transfert thermique entièrement intégré à SolidWorks. SolidWorks Flow Simulation, qui simule le test du prototype de modèle dans son environnement fluide de travail. Il permet de répondre à la question : Quels sont les effets des écoulements de fluide sur le prototype et les effets du prototype sur les écoulements du fluide ?

Les solutions analytiques sont uniquement disponibles pour les problèmes simples. Elles reposent sur de nombreuses hypothèses et ne permettent pas de résoudre la plupart des problèmes pratiques. SolidWorks Flow Simulation résout les équations de Navier-Stokes en

fonction du temps à l'aide de la méthode des volumes finis (MVF) sur un maillage computationnel rectangulaire (parallélépipède). La méthode MVF est une approche générale pour les problèmes simples et complexes. Cette méthode est l'une des plus efficaces pour la modélisation des phénomènes de fluide.

Les conditions aux limites de vitesse, de débit massique, de débit volumique ou de pression (statique et totale) sont spécifiées aux entrées et aux sorties du modèle. Les conditions fluides ambiantes sont spécifiées dans des limites distantes dans le cas d'une analyse externe.

Les outils de maillage automatique permettent de créer le maillage pour tout modèle 3D arbitraire. Il utilise un solveur implicite avec multi grille. Et possède un outil automatique pour l'analyse de convergence et l'arrêt du calcul. Il utilise des technologies avancées pour le traitement des résultats et la visualisation 3D, ainsi la résolution automatique des particularités du modèle et du champ d'écoulement [58].

IV.3. Géométrie du modèle

La géométrie du pot d'échappement qu'on a créé est composé de deux tubes et deux chicanes, chaque tube contient vingt perces (20) et chaque chicane contient un trou. Les tubes et les chicanes sont enveloppé par une calandre qui est fermé au deux extrémité par deux boîtiers (Figure IV.2). Les dimensions du pot d'échappement sont représentées sur la figure IV.3

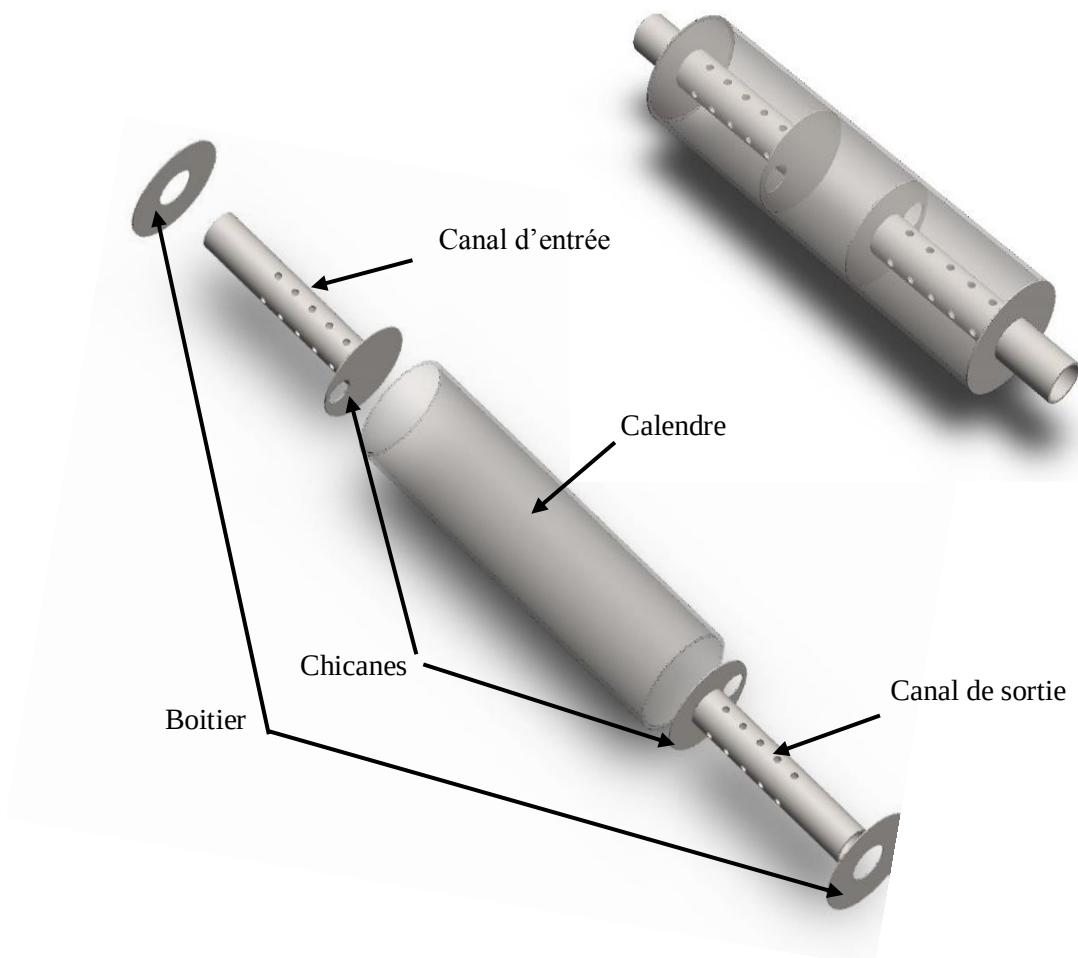


Figure IV.2 : Pot d'échappement.

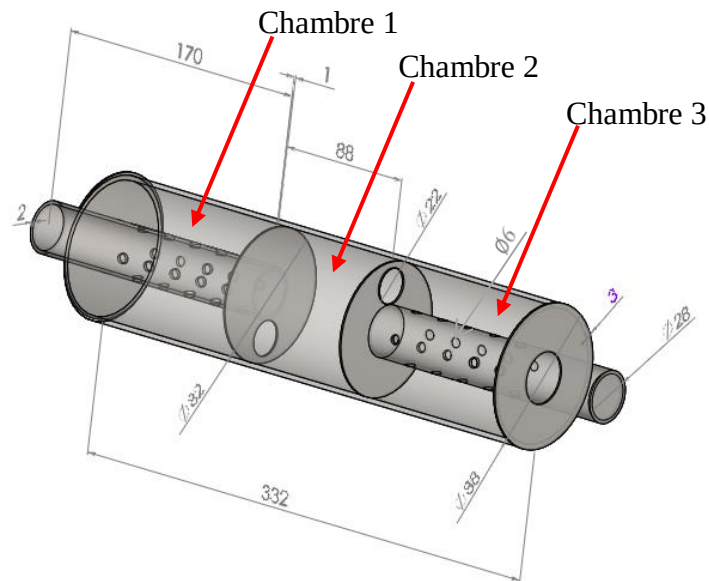


Figure IV.3 : Dimensions du pot d'échappement.

IV.4. La réalisation du pot d'échappement

Pour réaliser le pot d'échappement on a préparé les matières primaires nécessaires (Figure IV.4), Puis on a commencé par coupage des boîtiers et chicanes d'entrée et de sortie et. Et l'aide du machine tour (Figure IV.5) on a usiné quatre disques de même diamètre. Puis on a tracé des points pour repérer l'emplacement de vingt trous qui se situe sur les canaux d'entrées et sorties, Puis on a percé les trous à l'aide d'une perceuse (Figure IV.6). Et en fin on a passé au phase d'assemblage des organes (Figure IV.7) du pot d'échappement par la soudure (Figure IV.8) et après le soudage on a finissez les surfaces soudées par l'affuteuse (Figure IV.9).

Et voilà le pot d'échappement est prêt, donc on a monté ce dernier sur le moteur TD111 comme montre la figure IV.10.

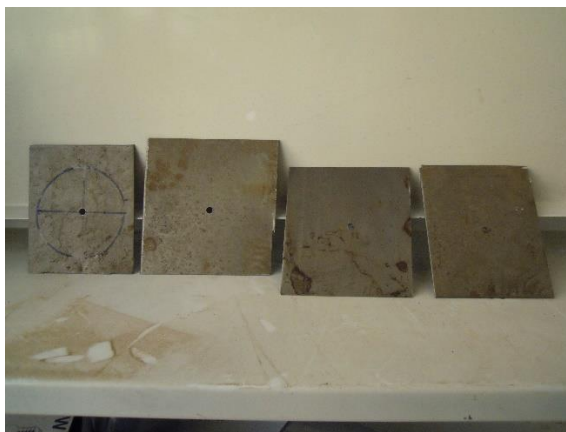


Figure IV.4 : matières primaires.



Figure IV.5 : Usinage des boîtiers et chicanes.



Figure IV.6 : Perçage des trous.



Figure IV.7 : canaux d'entrées et sortie percés et La calandre.



Figure IV.8 : Assemblage par soudure.



Figure IV.9 : Finission des surfaces soudées.



Figure IV.10 : Moteur TD111 avec son nouveau pot d'échappement.

IV.5. La simulation

Dans cette étude nous sommes intéressé par la simulation des écoulements a l'intérieur du pot d'échappement ainsi la variation de vitesse (V) , température (T) et la pression (P) dans ce dernier. Mais pour procedure au simulation on doit passer par le maillage,définir les conditions au limite et les paramètres du paroi.

IV.5.1. Maillage

SolidWorks Flow Simulation utilise des outils de maillage automatique qui permettent de créer le maillage pour tout modèle 3D et de même utilise des outils automatiques pour l'analyse de convergence et l'arrêt du calcul selon la précision définie par l'utilisateur. Il utilise un maillage computationnel rectangulaire (parallélépipède) (Figure IV.12). Le logiciel raffine le maillage selon les besoins de précision choisi par l'utilisateur, plus le maillage est raffiné on a besoin de plus de temps de calcul.

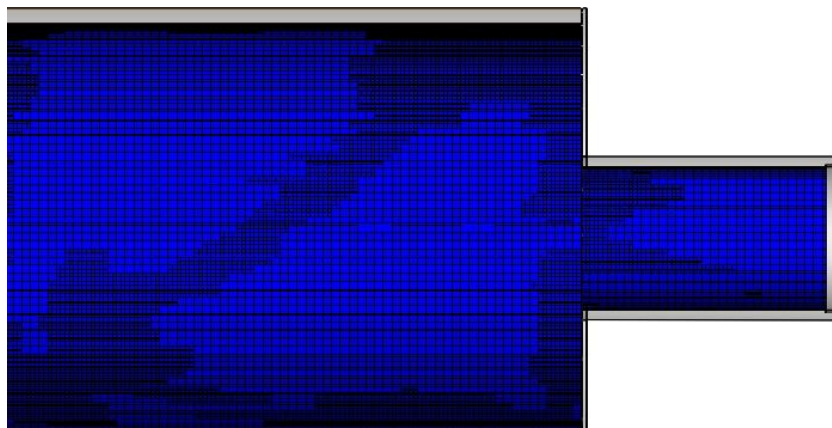


Figure IV.11 : Maillage rectangulaire du pot d'échappement.

IV.5.2. Conditions au limites

Pour commencer le calcul le logiciel besoin de plusieurs données parmi ces données on les conditions aux limites. Pour notre modèle on a choisi les conditions suivantes :

- A l'entrée :
 - ✓ Température des gaz brulées $T_e = 420,15 \text{ K}$;
 - ✓ Vitesse des gaz brulées $V_e = 25 \text{ m/s}$;
 - ✓ Pression des gaz brulées $P_e = 10 \text{ bar}$;
- A la sortie :
 - ✓ Température ambiante $T_s = 300,15 \text{ K}$.
 - ✓ Pression atmosphérique : 1 bar.

IV.5.3. Paramètres du paroi et fluide (pot échappement)

Les paramètres du paroi et fluide sont nécessaires pour lancer le calcul. On a supposé que notre paroi est adiabatique, donc aucun transfert avec le milieu extérieur, la température de la paroi est même que la température ambiante et le matériau de construction est un acier inoxydable. Et on a utilisé l'air comme fluide. Enfin on a lancé le calcul.

IV.6. Résultats et discussion

Après le lancement des calculs on a obtenu les résultats suivants :

IV.6.1. Variation de pression dans le pot d'échappement

Sur la figure ci-dessous (Figure IV.12) on peut observer la variation de pression dans la trajectoire d'une particule de fluide lors de son passage par le pot d'échappement on peut remarquer que la pression dans le tube d'entrée est presque constante, puis on a observé une dépression lors du passage par de le trou du tube d'entrée vers la chambre 1. De la sortie de chambre 1 jusqu'au la sortie de la chambre 2 la pression est stable puis elle diminue dans la chambre 3 en approchant de la sortie. On peut observer la variation à un échelle plus grand sur la figure IV.13.

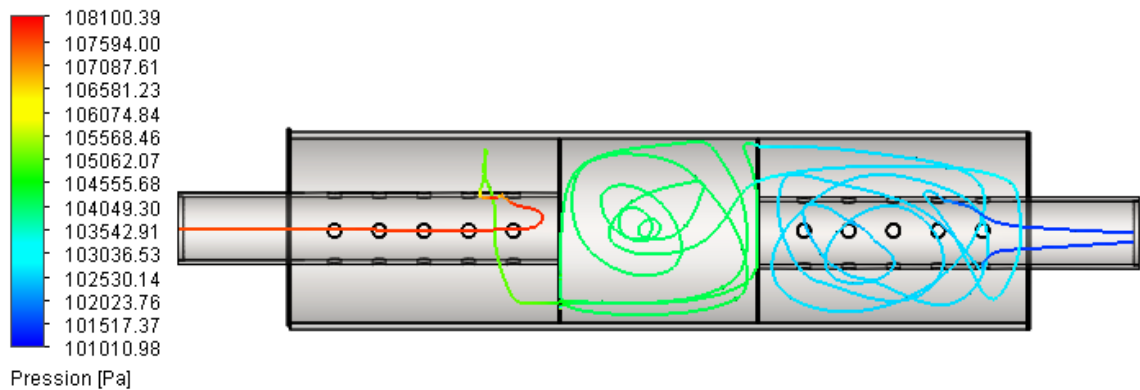


Figure IV.12 : Variation de pression d'une particule dans le pot d'échappement.

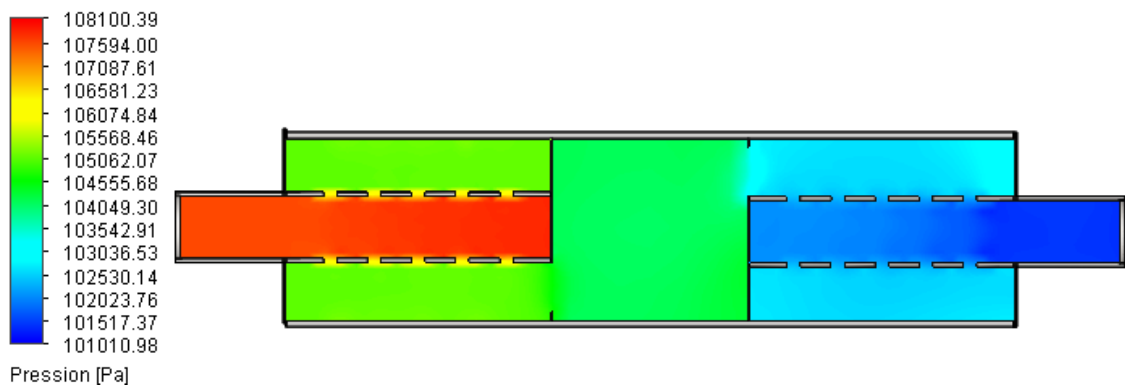


Figure IV.13 : Variation de pression du fluide dans le pot d'échappement.

IV.6.2. Variation de vitesse dans le pot d'échappement

De son entrée à sa sortie la vitesse du fluide subisse des variations importantes (Figure IV.14), dans la chambre 1, une accélération au niveau des perces. Puis lors de passage par les chicane à l'entrée de la chambre 2 et chambre 3 une accélération importante est observé. De plus des zones de turbulences dans la chambre2 (Figure IV.15). Dans la chambre 3 on a observé une augmentation de vitesse lors du passage du fluide par les trous de tube de sortie.

Et enfin on conclure que la vitesse à la sortie est presque même à celle d'entrée. Et sur la figure IV.16 on peut observer la trajectoire suivit par deux particules d'air.

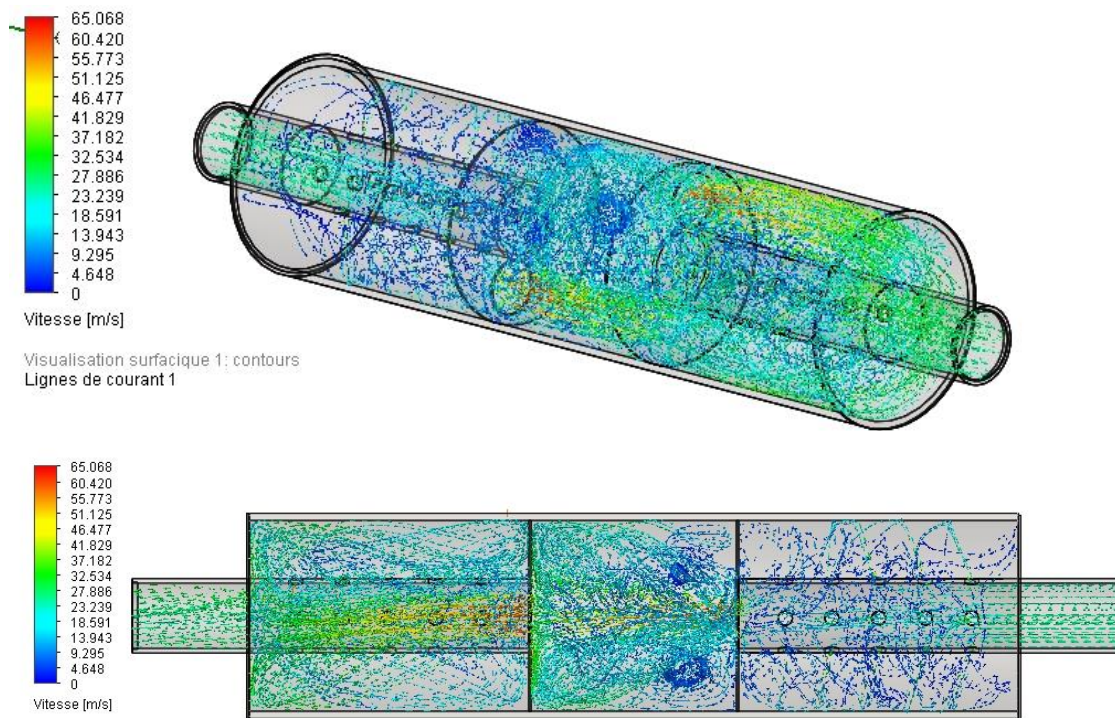


Figure IV.14 : Variations de la vitesse du fluide et zone de turbulences dans le pot d'échappement.

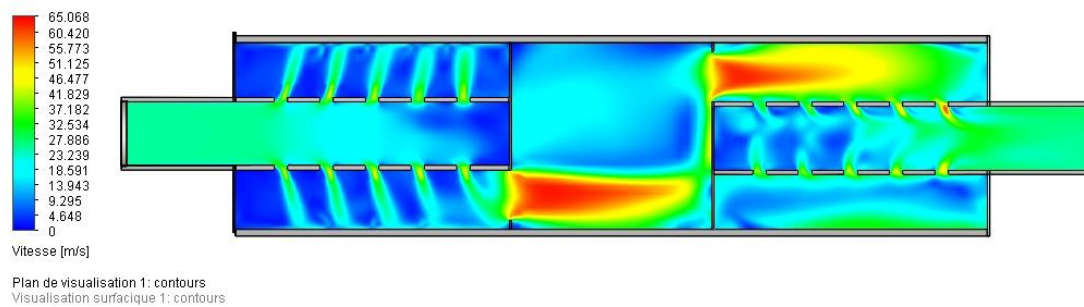


Figure IV.15 : Variations de la vitesse du fluide dans le pot d'échappement.

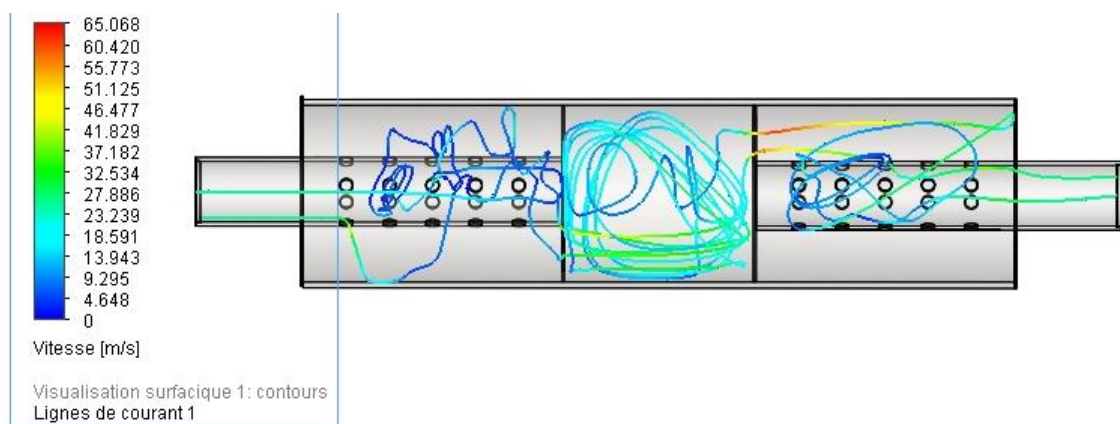


Figure IV.16 : Trajectoires et variations de la vitesse des particules du fluide dans le pot d'échappement.

IV.6.3. Variation de température du fluide dans le pot d'échappement

La variation de température de l'air est opposée à la variation de vitesses. Lorsque qu'on a une accélération donc une expansion du fluide, donc diminution de pression et température surtout à la sortie des trous de chicanes (Figure IV.19).

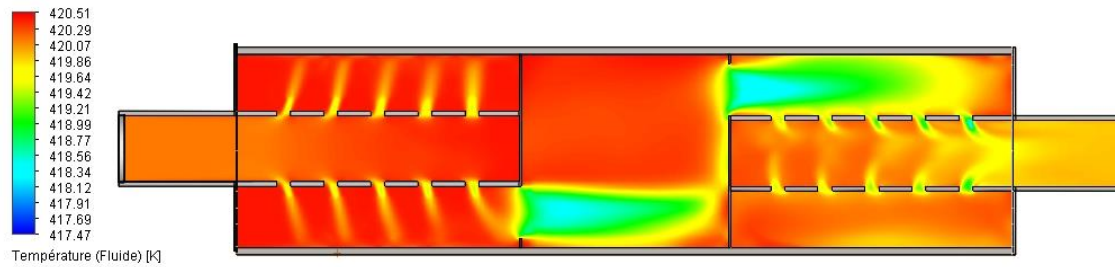


Figure IV.17 : Variations de la température du fluide dans le pot d'échappement.

IV.6.4. Variation de température du solide dans le pot d'échappement

La température du solide n'a pas subi des changements importants, puisque la longueur du pot est faible et la vitesse d'air est importante. De même on a une paroi adiabatique, donc on n'a pas d'échange avec l'air ambiante. De l'entrée du fluide à sa sortie la température diminue faiblement.

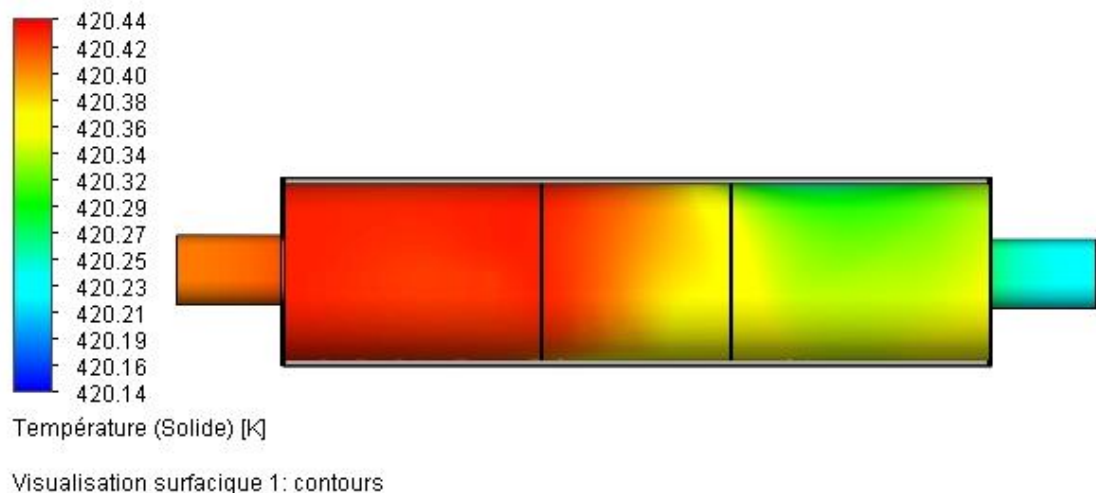


Figure IV.18 : Variations de la température du solide (pot d'échappement).

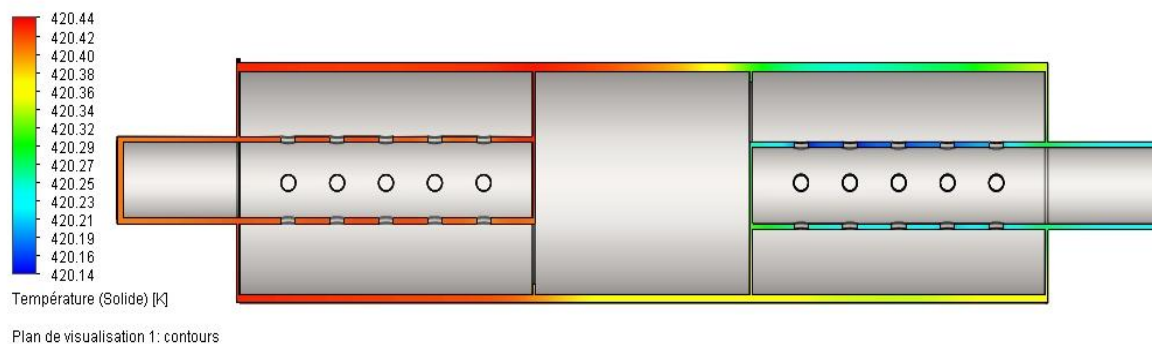


Figure IV.19 : Variations de la température du fluide dans le pot d'échappement (coupe).

Conclusion

Comme le moteur TD111 ne possède pas un pot d'échappement, on a intervenu et réalisé un pour ce dernier. Mais en même temps on était intéressé par ce qui se passe à l'intérieur, pour cela on réaliser la conception de la géométrie sur le logiciel SolidWorks. Et on a utilisé SolidWorks Flow Simulation pour simuler l'écoulement au sein de notre pot et la distribution du température le long de la surface. Et on a Obtenu les résultats suivants :

La vitesse de l'air augmente brusquement avec l'augmentation des volumes des chambres sur tous au niveau des perces et des chicanes. La pression et la température sont inversement proportionnelles à la vitesse, puisque l'augmentation des vitesses est due au expansion d'air donc diminution de pression et lorsque la pression diminue l'air subit un refroidissement.

Pour la variation de température le long du pot d'échappement (solide), on n'a pas observé des variations importantes des températures au sein de solide, puisque on a supposé que la paroi est adiabatique donc le fluide n'a pas subi des variations considérables pour influencer sur la paroi. De même la longueur de la paroi est faible et la vitesse est importante.

A decorative border in a light brown color, resembling a scroll. It features a vertical strip on the left side and a horizontal strip at the top, both with rounded ends and small loops at the corners.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale

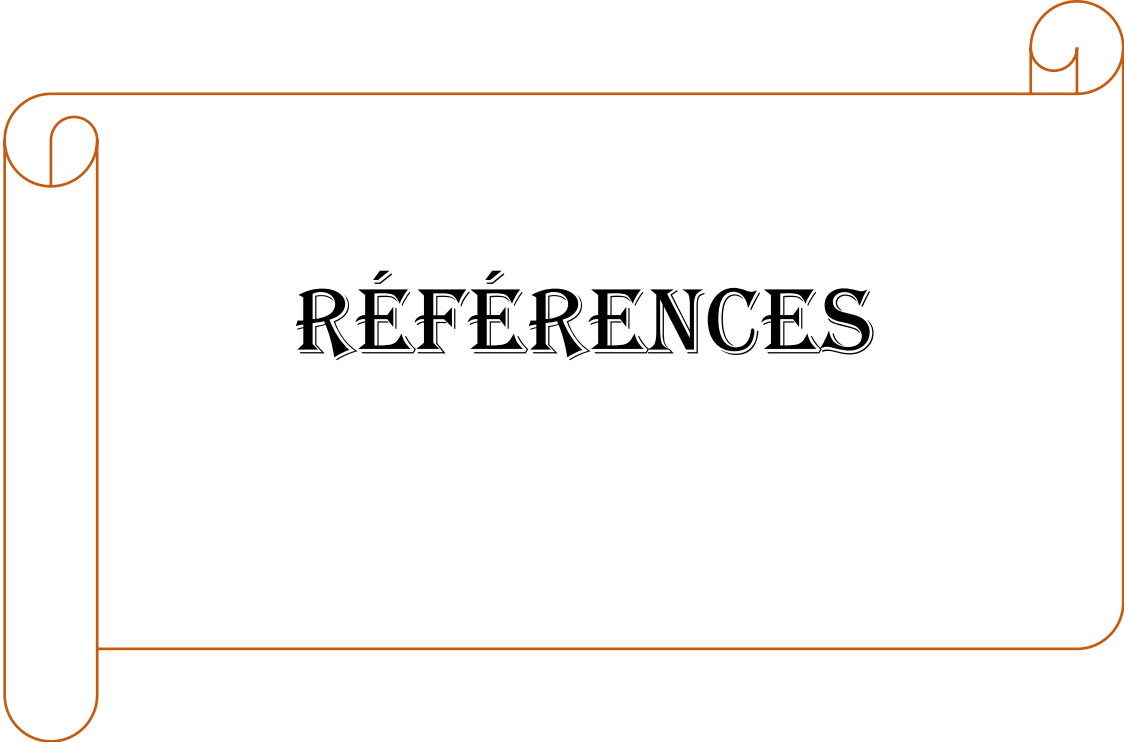
Depuis la création du moteur diesel et jusqu'à nos jours, il joue un rôle important dans tous les domaines (transport, production électrique...etc.), donc l'étude de ce moteur devient une nécessité. Au niveau du laboratoire des moteurs du département du génie mécanique de l'université de Mohamed Boudiaf de M'Sila, sont programmés des travaux pratiques (TP) sur ces moteurs, afin que les étudiants acquièrent de meilleures connaissances. Et comme le laboratoire ne contient pas de moteurs diesels opérationnels pour le bon déroulement des TP, on a intervenu et réparé les moteurs défectueux (moteur TD111 et moteur Volkswagen D1600 avec ces bancs d'essai). De plus on a réparé les prototypes des moteurs, et dorénavant, les étudiants des prochaines promotions peuvent faire des TP sur les moteurs diesels. De plus pour la première fois au niveau du département de génie mécanique on a réalisé des films documentaires qui expliquent bien (en vidéo) les différentes phases de réparation et les étapes de démarrage. Donc même en absence des enseignants les étudiants peuvent faire leurs TP en regardant ces films.

De plus on a réalisé un pot d'échappement pour le moteur TD111 qu'on a réparé. Et on a lancé une simulation sur le logiciel SolidWorks pour analyser les variations des paramètres (pression, température et vitesse) au sein du pot qu'on a réalisé.

Et enfin pour la première fois au niveau du département on a créé un logiciel de diagnostic des pannes des moteurs diesels (DPMD1.0), qui diagnostique les pannes les plus fréquentes des moteurs diesels.

Après l'expertise et la réparation des moteurs on a conclu que les pannes de ces moteurs sont dues au manque d'utilisation et entretien. Donc pour maintenir ces moteurs opérationnels on doit :

- Vérifier le niveau d'huile de graissage et d'eau de refroidissement avant démarrage ;
- Démarrer les moteurs au moins 15 minutes par semaine ;
- Couvrir les moteurs pour éviter le dépôt de poussière sur ses composants ;
- Remplacer les batteries de démarrage (durée de vie limitée) par un chargeur démarreur qui est alimenté directement par l'électricité domestique et peut durer à vie.

A decorative border in a light brown color, resembling a scroll. It starts with a small loop at the top right, goes down, then left, then down again, ending in a larger loop at the bottom left.

RÉFÉRENCES

Webographie

- [1] http://visite.artsetmetiers.free.fr/histoire_vapeur.
- [2] <http://www.museedumoteur.fr/le-musee/lhistoire-du-moteur>.
- [3] <http://univers-mercedes.forumactif.com/t318-histoire-de-la-marque-en-construction>.
- [6] <http://www.fiches-auto.fr/articles-auto/fonctionnement-d-une-auto/s-726-fonctionnement-d-un-moteur.php>.
- [7] <http://up.autotitre.com/764bea483f.jpg>.
- [8] <http://www.aerobuzz.fr/aviation-generale/route-rail-air-110-ans-de-moteurs/>.
- [9] <http://www.auto-innovations.com/site/dossier5/equilibre4cyl.html>.
- [10] <http://alfa-img.com/show/opposed-piston-diesel-engine-animation.html>.
- [11] <http://www.fiches-auto.fr/articles-auto/fonctionnement-d-une-auto/s-1353-double-arbre-a-cames-en-tete.php>.
- [12] http://www.uniquecarsandparts.com.au/how_it_works_tappets.
- [13] <http://www.fiches-auto.fr/sdoms/shiatsu/uploaded/fonctionnement-turbo.gif>.
- [14] <http://www.autopieceservice.com/site/images/normal/Embrayage-et-pieces-moteur-Turbo54a278aa5c28f.jpg>.
- [15] <http://www.jltechno.com/en/wikibase/general/how-automotive-fuel-systems-works.html>.
- [16] <http://img15.hostingpics.net/pics/640167ChevroletCorvetteC79.jpg>.
- [17] http://www.rectif2000.com/images/img_0973.jpg.
- [18] <http://media.lp24.fr/img/10490109.jpg>.
- [19] <http://steep-plastique.com/wp-content/uploads/2015/12/Carter-de-distribution-inf%C3%A9rieur-DV5R.jpg>.
- [20] <http://www.americars-shop.com/1109-1162-large/cache-culbuteurs-chrome.jpg>.
- [21] <https://www.carid.com/images/cp-carrillo/page/forged-piston.jpg>.
- [23] <http://www.cp-carrillo.com/files/1-Landing%20Pages/Rods/product-images/custom-img.jpg>.
- [24] <http://www.lerepairedesmotards.com/technique/calage-moteur.php>.
- [25] Anglo Belgian Corporation(ABC), Diesel Guide de conduite VDZC.
- [26] <http://www.fiches-auto.fr/sdoms/shiatsu/uploaded/moteur-cdi-pignon.jpg>.
- [27] <http://www.fiches-auto.fr/sdoms/shiatsu/uploaded/distribution-moteur-principe->
- [28] http://www.largus.fr/images/images/Courroie_de_distribution.jpg.
- fonctionnement-schema-3D.jpg.
- [29] <http://www.pieces-okaz.com/13197/arbre-a-cames-pour-vw-audi-seat-skoda-ford-119-tdi-ref-038109101f-038109101r.jpg>.
- [30] <http://aws-cf.caradisiac.com/prod/mesimages/620238/2%20soupapes.jpg2..jpg>.
- [31] <https://cdn.motordocor.de/thumb/?m=1&id=8178226&lng=fr>.
- [32] https://www.topwagen.com/images/topwagen/products_image/big_X19510902.jpg.
- [33] https://www.piecespit.com/thumbs/images/shop/pit/950_950/valve_clearance_adjustement_3.jpg.
- [35] http://xtrmexport.com/fr/archives/moteur_saviem_797/revue_technique/images/schema_d_e_graissage-zoom.jpg.

- [36] <http://www.auto-technique.fr/fiche-technique/filtre-a-huile-p1-357.html>.
- [38] <http://www.fiches-auto.fr/articles-auto/fonctionnement-d-une-auto/s-1502-differences-entre-carter-sec-et-humide.php>.
- [39] <https://forum.autocadre.com/topic/34558-le-circuit-de-refroidissement/>.
- [40] <https://www.autobrico.com/reparation-entretien-automobile/refroidissement/purger-le-circuit-de-refroidissement-dune-voiture/All-Pages.html>.
- [41] <http://www.air-cooling-system.com/>.
- [43] http://www.bosch-mobility-solutions.fr/fr_fr/fr/component_9/PT_CV_DS_Other-Injection-Systems_PT_CV_Diesel_2112.html?compId=1045.
- [45] http://www.bosch-mobility-solutions.fr/fr_fr/fr/component_9/PT_CV_DS_Other-Injection-Systems_PT_CV_Diesel_2112.html?compId=1045.
- [46] <http://auto-diagnostic-younes-khassa.blogspot.com/2011/05/linjection-par-injecteur-pomme.html>.
- [47] <http://tpmattitude.fr/methodes.html>.
- [49] <https://www.auto-best.fr/outillage-specifique/977-autobest-coffret-de-rodage-soupape-3233753196912.html>.
- [50] <https://media.cdnws.com/i/41748/99257/3684/59/pompe-de-tarage-injecteur-diesel.jpeg>.
- [51] <http://www.autotitre.com/fiche-technique/Volkswagen/Golf/II/Diesel>.
- [52] Mécanique automobile CEMEQ , vérification et réparation d moteur.
- [53] <http://www.briggsandstratton.com/eu/fr/support/faqs/what-are-the-recommended-break-in-procedures-for-my-engine>.
- [54] <http://www.univ-valenciennes.fr/coursenligne/e-diag/cours-en-ligne-web/co/3-2-DefinitionDiagnostic.html>.
- [55] http://qualityservicemanual.com/system/files/styles/uc_product_full/private/img/Caterpillar%203126%2C%203126B%2C%203126E%20Engines.jpg?itok=QCJsa6d8.
- [56] Borland Delphi 7, guide d'utilisateur 2002.

Bibliographie

- [4] Didier Jolivet, le moteur Diesel CHOTARD et ASSOCIES, Editeurs 1991.
- [5] Nicolas Bordet, Modélisation 0D/D combustion Diesel : du mode conventionnel au mode homogène, université d'Orléans 2011.
- [22] Adda Bechkok, les moteurs à combustion interne, office des publications universitaires 1995.
- [34] Guide pratique d'entretien et réparation des moteur Diesel, Jean-Luc Pallas, édition Loisirs Nautiques, 2001.
- [37] Guesmi Lamine & Zitouni Sabri, moteur thermique ISET du Kef.
- [42] Brice Gonier & Kevin Debot, les moteurs Diesel institut polytechnique des sciences avancée 2005.
- [44] Frija Mounir, moteur thermique institut supérieur des sciences appliquées et de technologie de Sousse.
- [48] TecQuipment, TD110/111/113/114/115 MINI-ENGINE TEST RIGS AND INSTRUMENTATION.
- [57] Dassault Systèmes SolidWorks Corporation, une société de Dassault Systèmes, S.A. 175 Wyman Street, Waltham, Mass. 02451 USA, 1995-2014.
- [58] Guide de SolidWorks Flow Simulation pour l'enseignant, 2011.