

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : installations énergétiques et turbomachines

Par :

KERKADI Massinissa

BRAHMI Massinissa

Thème

Etudes D'un Moteur Thermique à Combustion Interne Sans Arbre à Came

(Technologie De Camless)

Soutenu le 26 /09/ 2022 devant le jury composé de:

Mr. AMRI .A	Président
Mr. TAZRART .F	Examineur
Mr. MEBARKI .Y	Rapporteur

Année Universitaire 2021-2022

Remerciement

Nos remerciements vont tout d'abord à notre dieu pour la santé et le courage qu'il nous a donné pour terminer ce modeste travail. Nous voudrions adresser nos remerciements les plus profonds et les plus sincères à notre encadreur « MEBARKI YOUCEF ». Nous tenons à témoigner de la confiance qu'il nous a accordée dès le début du mémoire, et du soutien indéfectible qu'il nous a apporté durant tout son déroulement. Nous tenons à remercier très sincèrement l'ensemble des membres du jury qui nous font le grand honneur d'accepter de juger notre travail. Nous remercions aussi tous les enseignants du département G. Mécanique pour tout le savoir que nous avons acquis grâce à eux durant notre formation. Enfin, Nous remercions toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

A mes très chers parents, intarissable source d'amour, de respect et de bonheur. Ce travail est le vôtre et est la consécration de vos inestimables sacrifices consentis.

A mes très chères et tendres sœurs, amour et respect pour tout ce que vous incarnez à mes yeux ;

A mon petit frère « FAZIL» , puissions-nous partager bien plus que des parfums, témoignage de mon respect grandissant et de ma gratitude pour tout ce que t'as fait pour moi et pour mes réussites passées, présentes et futures.

A mes chères amis qui étaient ma lumière et mon repère, à ce qui était à mon soutien durant ce travail, et à mon binôme « Massi » ;

A mes deux cher ami « loucif» et « Aguellid». Qui m'ont soutenue durant mon travail et qui m'ont aidé dès le début de ce travail jusqu'à sa fin, je tien a vous remercier pour tout vous efforts et votre temps si précieux que vous avez fourni afin d'assurer la bonne réalisation de ce travail.

Je dédie ce travail a toutes les personnes chères à mon cœur. Qu'elles trouvent ici l'expression de toute ma gratitude et mon amour.

KERKADI Massinissa

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A ceux qui ont fait de moi qui je suis, ceux envers qui j'ai une dette imprescriptible " mes chères parents"

A mes chères frères et sœurs qui étaient un doux soutien moral par leur tendresse et leur amour pur qui m'avait accompagné durant toute ma vie ;

A toute ma famille qui était mon courage et ma volonté

A tous mes chers amis Pour tous les instants inoubliables que j'ai passés avec vous, je vous aime beaucoup. Et à mon binôme « Massi».

A mes deux chers amis « loucif » et « aguellid » qui m'ont soutenue durant mon travail et qui m'ont aidé dès le début de ce travail jusqu'à sa fin, je tiens à vous remercier pour tout vos efforts et votre temps si précieux que vous avez fourni afin d'assurer la bonne réalisation de ce travail ;

Je dédie ce travail à toutes les personnes chères à mon cœur. Qu'elles trouvent ici l'expression de toute ma gratitude et mon amour.

BRAHMI Massinissa

Remerciement	I
Dédicaces	II
Sommaire	III
Liste des figures	VI
Liste des tableaux	VII
Liste des symboles	VIII
Liste des acronymes	
Introduction générale	1

Chapitre I : généralités sur le moteur thermique à combustion interne

I.1.	Introduction.....	3
I.2.	Historique du moteur thermique à combustion interne.....	3
I.3.	Classification des moteurs à combustion interne	4
I.3.1.	Classification selon le carburant.....	4
I.3.1.1	Moteur à allumage commandé (essence).....	4
I.3.1.2.	Moteur diesel	5
I.4.	Utilisation le moteur diesel	6
I.4.1.	Comparaison entre le moteur Diesel et le moteur à explosion	6
I.4.2	Les organes d'un moteur à combustion interne	6
I.4.2.1.	Organes fixes	6
I.4.2.2.	Organes mobiles.....	7
I.4.3.	Présentation des organes fixe et mobiles d'un moteur thermique	7
I.4.3.1.	Organes fixe.....	7
I.4.3.2.	Organes mobiles.....	9
I.5.	Classification selon le temps.....	12
I.5.1.	Moteur à deux temps.....	12
I.5.1.1.	Le cycle de fonctionnement a deux temps.....	13
I.5.2.	Moteur à combustion interne à quatre temps.....	14
I.6.	Caractéristiques fondamentales du cycle	15
I.6.1.	Le travail	15
I.6.2	Pression moyenne	16

I.6.3. Rendement	16
I.6.4. Taux de compression volumétrique	16
I.6.5. Consommation spécifique (g/KWh)	16
I.6.6. Puissance effective au litre de cylindrée	17
I.6.7. Puissance massique ou volumique	17
I.7. Comparaison deux temps-quatre temps	17
I.8. La technologie de Camless.....	17
I.9 Conclusion	18
II.1 Introduction	20
II. 2. La technologie de Camless	20
II.2.1. Apparition et évolution de la technologie "Camless"	20
II.2.1. Description	20
II.2.2. Principe de fonctionnement du moteur Camless	20
II.2.3. L'amélioration du moteur	21
II.2.4. Consommation de carburant réduite.....	21
II.2.5. Temps de réponse à un cycle	21
II.2.6. Désactivation des soupapes du moteur	22
II.2.7. Réduction de couple de démarrage	22
II.2.8. Fréquence d'activation variable	22
II.2.9. Freinage régénératif.....	22
II.2.10. Réduction de la hauteur et du poids du moteur.....	23
II.2.11. Espacement flexible des soupapes	23
II.3. Les organes du moteur sans arbre à cames	23
II.3.1. La Culasse	23
II.3.2. Soupape du moteur.....	24
II.3.2.1. Actionnement des soupapes sans arbre à cames	25
II.3.3. Exigences	26
II.3.3.1. Contrôle robuste de mouvement de la soupape:	26
II.3.3.2. Assise souple	26
II.3.3.3. Consommation d'énergie	26
II.3.3.4. Coût du système	26
II.3.3.5. Simplicité de commande et effort d'étalonnage.....	26
II.3.3.6. Taille du système	27
II.4. Les systèmes d'actionnement des soupapes sans came.....	27
II.4.1. Systèmes électromécaniques	27

II.4.2. Systèmes électro hydrauliques	28
II.5. Avantages des moteurs sans arbres à cames	28
II.6. Inconvénients des moteurs sans arbres à cames	28
II.7. Concept d'arbre à came	29
II.7.1. Définition.....	29
II.8. Comparaison entre le moteur avec arbre à came et le moteur de Camless	29
II.9 Conclusion	29
III.1. Introduction	32
III.2 Présentation du navire	32
III.2.1. Les caractéristiques du navire	33
III.3. Moteur diesel.....	33
III.3.1. Paramètres du moteur	33
III.4. Cycle suralimenté avec turbine à pression Constante	35
III.4.1. Principe de fonctionnement.....	35
III.4.1.1. Rendement thermique du cycle	35
III.4.1.2. Pression moyenne du cycle	36
III.4.2. Dimensions principales du cylindre.....	36
III.5. Concept du moteur et disposition du système mécanique et hydraulique	37
III.5.1. Le cylindre hydraulique	37
III.5.2. Lubrification du système	37
III.5.3. Injection du fuel.....	38
III.6. Actionneur de soupape d'injection de carburant d'un navire.....	38
III.7. Pompes actionnées par moteur	39
III.8. Système de refroidissement par eau de mer	39
III.9. Les charges du moteur.....	41
III.12.Conclusion.....	45
IV.1. Introduction.....	48
IV.2. Notion de sûreté de fonctionnement.....	48
IV.2.1. Maintenance, surveillance et diagnostic.....	48
IV.2.1.1. Maintenance	48
IV.2.1.2. Surveillance / détection de comportement	49
IV.2.1.3. Diagnostic.....	49
IV.2.2. Fiabilité, disponibilité et sécurité	49
IV.2.2.1. Fiabilité.....	49
IV.2.2.3. Sécurité.....	51
IV.2.3. Réparation ou dépannage.....	51

IV.2.3.1. Dépannage	51
IV.2.3.2. Réparation.....	51
IV.2.3.3. Diagnostic.....	52
IV.2.3.4. Durée de vie	52
IV.2.4. Défaillance et panne	52
IV.2.4.1. Défaillance.....	52
IV.2.4.2. Panne.....	52
IV.3. Choix de méthode de maintenance.....	53
IV.4. Maintenance du moteur diesel d'un navire sans came	53
IV.5. Symptômes et Maintenance	54
IV.5.1. Manque de puissance du moteur	54
IV.5.2. Le moteur chauffe	54
IV.5.3. Le moteur ne crache pas d'eau par l'échappement humide	54
IV.5.4. Le moteur hoquette et cale.....	54
IV.5.5. Le moteur démarreur ne tourne pas	54
IV.5.6. Le moteur ne démarre pas.....	54
IV.5.7. Mauvaise combustion	54
IV.5.8. Le moteur brûle de l'huile	55
IV.5.9. Vapeur d'eau	55
IV.5.10. Vibrations et bruits divers	55
IV.5.11. Echauffement des roulements.....	55
IV.5.12. Echauffement des coussinets.....	55
IV.6. Maintenance du système de refroidissement.....	55
IV.7. Cas Réel, Rapport D'avarie Majeure	56
IV.7. Conclusion	59
Annexe 1 (L'annexe VI de MARPOL).....	2
Les règles liées à la pollution atmosphérique	2

Liste des figures

Figure I. 1 : Cycle de beau de rochas [2].....	4
Figure I. 2 : Le cycle d'un moteur diesel [3].....	5
Figure I. 3 : Vue éclaté d'un moteur à combustion interne [4]	7
Figure I. 4 : Culasse [4].....	8
Figure I. 5 : Bloc Moteur [4]	8
Figure I. 6 : Carter [4]	9
Figure I. 7 : Collecteurs d'admission et d'échappement [5]	9
Figure I. 8 : Piston [4]	10
Figure I. 9 : Bielle [4].....	10
Figure I. 10 : Vilebrequin [4]	11
Figure I. 11 : Volant Moteur [4].....	11
Figure I. 12 : Soupapes et Arbre à Came [5].....	12
Figure I. 13 : Schéma d'un moteur 2-temps [6]	12
Figure I. 14 : Schéma représentatif d'un cycle 2temps [6]	13
Figure I. 15 : cycle de travail du moteur 4 temps [6]	15
Figure II. 1 : La Culasse d'un moteur Camless [4]	24
Figure II. 2 : Soupape d'un moteur Camless [11]	25
Figure II. 3 : Schéma d'un système général d'actionnement de soupapes de moteur sans came [11]	25
Figure II. 4 : Actionnement des soupapes [13]	27
Figure III. 1: General cargo TIN ZIREN.....	32
Figure III. 2 : Une vue pour le moteur	34
Figure III. 3 : Schéma de fonctionnement d'un cycle suralimenté avec turbine à pression Constante.....	35
Figure III. 4 : Schéma de refroidissement par l'eau de mer	41
Figure IV. 1 : Fonction de fiabilité.....	49
Figure IV. 2 : Fonction de disponibilité [14].....	51

Figure IV. 3 : Panne / Défaillance [14]	52
Figure IV. 4 : Une vue réel sur les vannes de sécurité	57
Figure IV. 5 : l’afficheur des vannes	57
Figure IV. 6 : l’afficheur des vannes	58
Figure IV. 7 : ELFI control valve T45-32	58

Liste des tableaux

Tableau I. 1 : Comparaison entre le moteur diesel et le moteur à essence [3]	6
Tableau III. 1 : Caractéristiques du navire General cargo TIN ZIREN	33
Tableau III. 2 : Caractéristiques générales du moteur	33
Tableau III. 3 : Donnée de performance d'une charge vide sur le moteur	42
Tableau III. 4 : Donnée de performance d'une charge à 25% sur le moteur	42
Tableau III. 5 : Donnée de performance d'une charge à 50% sur le moteur	43
Tableau III. 6 : Donnée de performance d'une charge à 75% sur le moteur	43
Tableau III. 7 : Donnée de performance d'une charge à 100% sur le moteur	44
Tableau III. 8 : Donnée de performance d'une charge à 110% sur le moteur	44
Tableau IV. 1 : Cause de surchauffe [18]	56

Liste des symboles

P : Pression

F : Force

W : Travail du moteur

V : Volume

W_i : Travail indiqué

P_{moy} : Pression moyenne

W_{cycle} : Travail spécifique

C_y : Volume de cylindrée

η_{th} : Rendement du cycle théorique

Q_a : Quantité de chaleur

ε : Taux de compression volumétrique

V_m : Volume de la chambre de combustion

T : Température

η_{tk} : Rendement thermique du turbocompresseur

ε_k : Taux de compression du turbocompresseur

V_t : Cylindrée total

D : Diamètre de piston

S : Course de piston

V_h : Cylindrée unitaire

λ : Taux de défaillance

P_{max} : Pression de combustion (max)

P_{comp} : Pression de compression

Liste des acronymes

H/T : Haute température

PMH : Point mort haut

PMB : Point mort bas

ECV : Commande des soupapes sans came

ELFI/ ELVA ou FIVA : soupapes de commande à commande électronique

HCU : comprend un bloc de distribution, portant le booster de pression du fioul à commande hydraulique et l'actionneur de la soupape d'échappement.

L'AFNOR : L'association française de normalisation

MTBF : Moyen Temps de bon fonctionnement

MTTF : temps moyen de défaillance

MUT : temps moyen de fonctionnement

MDT ou TMI \approx MTTR : Temps Moyen D'arrêt

HPS : Alimentation hydraulique

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale

Depuis la nuit des temps, l'être humain a utilisé les divers moyens de transport en vue de son déplacement ou bien pour transporter des marchandises, ce qui lui avait permis de parcourir de longues distances avec un minimum d'effort.

Ces moyens de transport ont connus un changement et un développement permanent, d'où l'être humain avait usé au départ les animaux et la force des muscles comme une puissance motrice, mais son besoin lui avait imposé d'inventer et de découvrir des moyens plus efficaces et plus rentables, jusqu'à ce que Alphonso Beau de Rocha découvre le premier moteur à combustion interne en 1862, la découverte qui a été une nouvelle naissance pour la motorisation à cette époque.

Depuis, les moteurs à combustion interne n'ont pas cessé de développer et d'évoluer, et les différentes recherches effectuées depuis ce temps et jusqu'à présent ont été pour le seul but de l'idéaliser et de perfectionner en termes de puissance et de robustesse, de performance et de consommation de carburant pour pouvoir répondre aux nouvelles normes écologiques qui viennent de régner sur le monde.

Les recherches récentes effectuées dans ce domaine ont donné comme fruit l'invention du siècle connue sous le nom "moteur sans arbre à came" connue aussi sous le terme "Technologie Camless", jusqu'à l'année 2016, cette dernière était qu'un encre sur papier avant qu'en novembre 2016, le constructeur automobile chinois Qoros Auto a présenté la berline Qoros 3 au salon de l'automobile de Guangzhou 2016, qui présentait un nouveau moteur « Qoros Camfree », cette dernière technologie s'avère un excellent sujet d'étude pour notre projet de fin d'étude.

Dans ce qui suit de notre travail, nous allons procéder à l'étude de cette nouvelle technologie afin de relever les facteurs qui ont fait d'elle une technologie meilleure que les moteurs à combustion interne conventionnels.

L'organisation de ce mémoire est présentée par quatre chapitres :

- ✓ Le premier chapitre donne une présentation sur les généralités des moteurs thermiques à combustion interne et leurs organes de fonctionnement, aussi la classification selon le temps et la nouvelle technologie des moteurs dite Camless.

Introduction générale

- ✓ Dans le deuxième chapitre constitue l'une des dernières évolutions technologiques des moteurs (La Technologie De Camless),
- ✓ Pour le troisième chapitre c'est une présentation d'un navire TINE ZIREN sans arbre à came, par leurs caractéristiques et leurs paramètres et le concept du moteur et son système de refroidissement et la charges du moteur.
- ✓ Le quatrième chapitre démontre les notions de sûreté de fonctionnement des moteurs des navires et le choix des méthodes de maintenance et maintenance du système de refroidissement.

Chapitre I
Généralité sur le
moteur thermique à
Combustion interne

I.1. Introduction

L'invention du moteur à combustion interne était un saut technologique à son époque, depuis il a subi de divers changements et développements historiques de le perfectionner et de le rendre plus fiable.

Depuis des années, et particulièrement depuis les années 2000, on parlait d'une nouvelle technologie de moteur dite "Camless" connus sous le terme "sans arbre à came".

Dans ce qui suit, nous exposerons l'historique d'évolution des moteurs à combustion interne, ses différents types et structure ainsi ses différentes technologies.

I.2. Historique du moteur thermique à combustion interne

Les moteurs à combustion interne font partis des premières inventions dans le domaine de motorisation, ils étaient l'invention qui avait basculé le monde après qu'il était en cette époque basé sur les moteurs à combustion externe (la machine à vapeur) qui utilisent le charbon des mines comme carburant.

Il est difficile de trouver actuellement des réalisations techniques si prêtes des idées initiales conçues, il y a un siècle, en janvier 1862 les recherches du français Alphonse Beau de Rochas, ont donné comme fruit le cycle à quatre temps avec compression préalable universellement appliqué de nos jours, et il obtient effectivement son brevet

Quelques années plus tard en 1876, l'Allemand Nikolaus Otto réalise le premier moteur thermique fonctionnant selon le cycle de Beau de Rochas. Avec les Français Hugon et Lenoir apparaît en 1860, le moteur à deux temps à un seul cylindre fait alors naissance, mais la première application de la compression préalable au cycle deux temps sera due, en 1879, à « Dugald Clerk », les moteurs à combustion interne qui sont alors fabriqués qui fonctionnent aux gaz des hauts fourneaux ou à l'essence de pétrole avec allumage par étincelle.

Un autre type de moteur va apparaître comme fruit des recherches de R. Adolphe Diesel qui a essayé au début, d'appliquer le cycle de Carnot à la réalisation d'un moteur alimenté en poussière de charbon. Celui-ci est injecté dans une atmosphère portée à une température élevée par compression, et qui doit s'enflammer spontanément au fur et à mesure de son introduction. Les travaux entrepris par l'inventeur, avec la collaboration des ingénieurs de la société «Krupp », ont abouti enfin en 1897 au moteur diesel tel qu'on le connaît aujourd'hui, ainsi apparaissent les moteurs à combustion interne à deux temps et à quatre temps, à allumage commandé et à

allumage par compression, dont les réalisations successives depuis un siècle, ont abouti aux machines perfectionnées que nous connaissons aujourd'hui [1].

I.3. Classification des moteurs à combustion interne

I.3.1. Classification selon le carburant

I.3.1.1 Moteur à allumage commandé (essence)

Un moteur à allumage commandé, plus communément appelé moteur à essence en raison du type de carburant le plus fréquemment utilisé, est une famille de moteur à combustion interne, pouvant être à mouvement alternatif ou plus rarement à mouvement rotatif [2].

➤ Principe de fonctionnement:

Dans le moteur sont creusés des cylindres et à l'intérieur de chaque cylindre se trouve un piston. Les pistons descendent, aspirant du carburant et de l'air. En remontant, tout ce mélange est comprimé dans les cylindres. Arrivé en butée haute, il se produit une combustion de ce mélange grâce à une étincelle [2].

➤ Le cycle d'un moteur à essence :

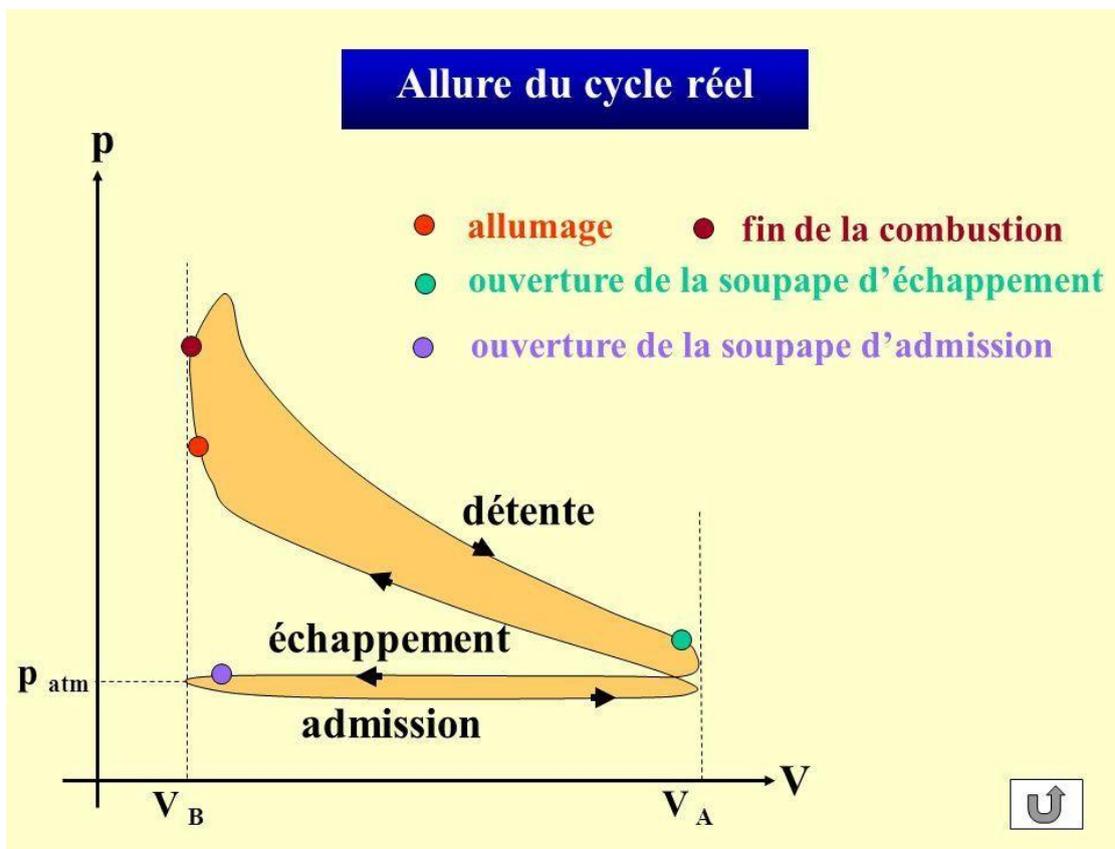


Figure I. 1 : Cycle de beau de rochas [2]

I.3.1.2. Moteur diesel

Les moteurs Diesel, dont la combustion est déclenchée par l'injection de gazole sous pression dans de l'air fortement comprimé (T° élevée, environ 500 C° à 600 C°) ; il se produit alors une auto-inflammation, ce qui signifie que le mélange s'enflamme spontanément.

Les moteurs Diesel sont construits de la même façon que les moteurs à essence, mais sont généralement plus lourds afin de supporter de taux de compression plus élevés. Les moteurs Diesel peuvent être à deux temps ou à quatre temps, refroidis par air ou par eau [3].

On distingue deux types de moteur Diesel :

- Moteur diesel à injection directe
- Moteur à injection indirecte

➤ Principe de fonctionnement

En effet, dans un moteur diesel, le carburant est injecté dans le cylindre lorsque le piston arrive au maximum de sa course de compression. Lorsque le carburant est injecté, il s'évapore et s'enflamme en raison de la chaleur créée par la compression de l'air dans le cylindre [3].

➤ Le cycle d'un moteur diesel :

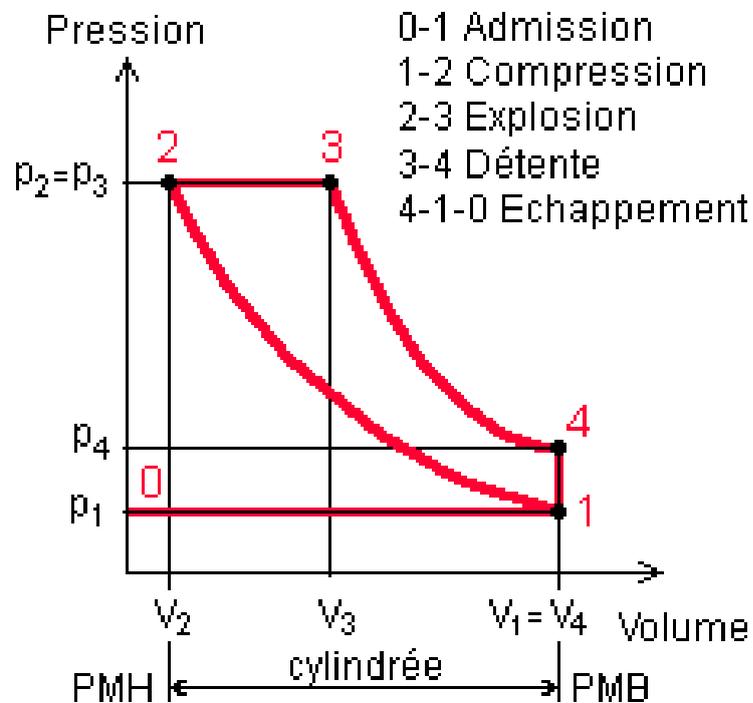


Figure I. 2 : Le cycle d'un moteur diesel [3]

I.4. Utilisation le moteur diesel :

I.4.1. Comparaison entre le moteur Diesel et le moteur à explosion

Moteur à allumage non commandé (Diesel)	Moteur à allumage commandé (essence)
<ul style="list-style-type: none">• Le mélange se fait dans le cylindre, l'air étant aspiré et le combustible injecté ensuite, à l'aide d'un "injecteur" alimenté par une "pompe d'injection" qui lui communique une pression supérieure à celle régnant dans le cylindre en fin de compression pour permettre son introduction.• L'air est comprimé sans inconvénient pour atteindre des pressions et des températures très élevées.• le moteur Diesel ne possède ni carburateur, ni système d'allumage.• chaque cylindre a un système d'alimentation propre qui comprend un injecteur et un élément de la pompe d'injection.• Il développe un couple important, pour cela on le retrouve utilisé dans les engins	<ul style="list-style-type: none">• Le mélange air-essence est formé dans le carburateur à l'extérieur du cylindre.• Le taux de compression on est limité par le phénomène "d'auto-allumage".• Comprimer sans inconvénient pour atteindre des pressions et des températures très élevées.• La présence d'un carburateur et d'un système d'allumage est primordiale dans ce genre de moteur.• Il développe une vitesse importante, pour cela on le retrouve utilisé dans les voitures de course.

Tableau I. 1 : Comparaison entre le moteur diesel et le moteur à essence [3]

I.4.2 Les organes d'un moteur à combustion interne

I.4.2.1. Organes fixes

Les parties fixes comprennent essentiellement

- la culasse
- le bloc-cylindres
- les carters
- les collecteurs d'admission et d'échappement

I.4.2.2. Organes mobiles

Les organes mobiles d'un moteur sont essentiellement.

- les pistons
- les bielles
- le vilebrequin
- le volant moteur les soupapes et leurs commandes (distribution)

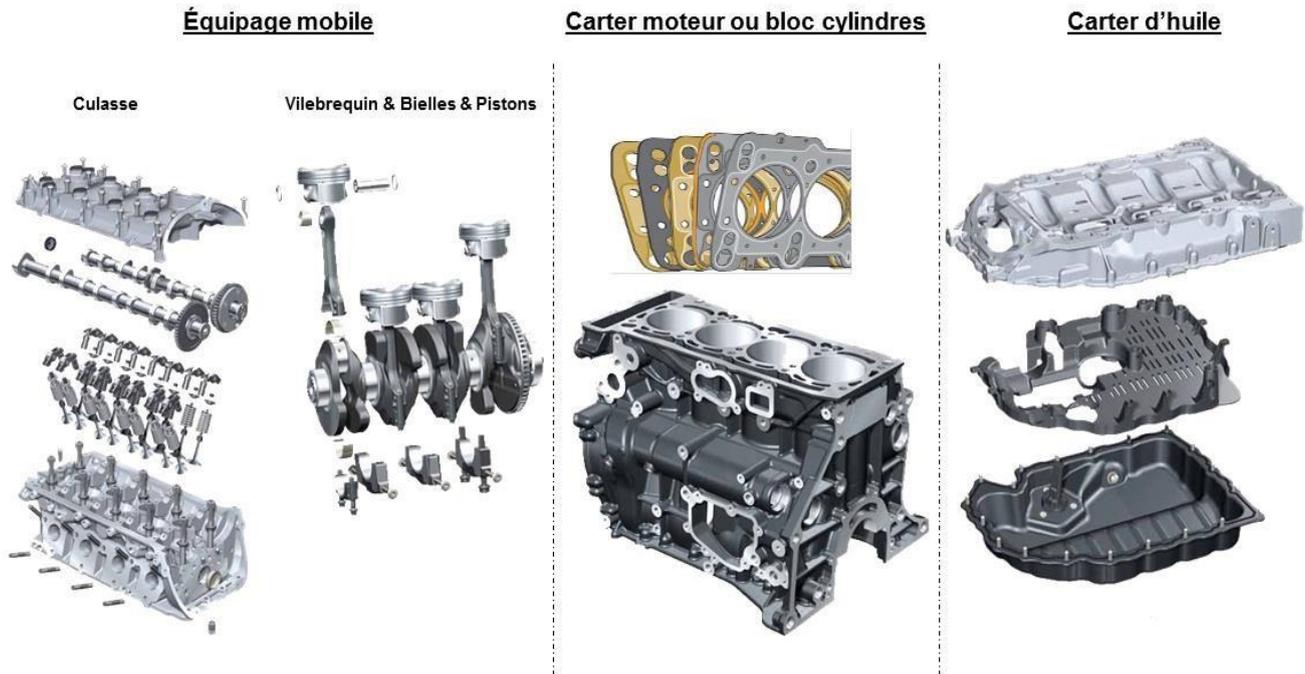


Figure I. 3 : Vue éclaté d'un moteur à combustion interne [4]

I.4.3. Présentation des organes fixe et mobiles d'un moteur thermique

I.4.3.1. Organes fixe

I.4.3.1.1. Culasse

Elle assure la fermeture des cylindres dans leur partie supérieure, et contient la chambre de combustion [4].

- ✓ Elle permet la circulation des gaz
- ✓ Elle reçoit une partie de la distribution.
- ✓ Elle reçoit la bougie d'allumage.
- ✓ Elle doit évacuer une quantité importante de chaleur.



Figure I. 4 : Culasse [4]

I.4.3.1.2. Bloc Moteur

Il sert de support à tous les organes principaux (piston, vilebrequin,...) et aux organes annexes (démarreur, conduits,...) [4].



Figure I. 5 : Bloc Moteur [4]

I.4.3.1.3. Carter

En mécanique, un carter est une enveloppe protégeant un organe mécanique, souvent fermée de façon étanche, et contenant le lubrifiant nécessaire à son fonctionnement [4,5].



Figure I. 6 : Carter [4]

I.4.3.1.4. Collecteurs d'admission et d'échappement

Le collecteur d'admission est un élément de la ligne d'air d'un moteur à explosion multicylindre. Appelé aussi répartiteur, il a pour fonction de fournir, à chaque cylindre, la quantité d'air nécessaire à une combustion complète du carburant. L'échappement c'est la sortie des gaz brulés à l'extérieur de la chambre de combustion [5].



Figure I. 7 : Collecteurs d'admission et d'échappement [5]

I.4.3.2. Organes mobiles

I.4.3.2.1. Piston

- Compression des gaz frais grâce à la force de la bielle ($P = F / S$)
- Transformation de la pression des gaz enflammés en une force ($F = P \cdot S$)
- Le déplacement de la force permet au moteur de fournir un travail ($W = F \cdot d$) [4].



Figure I. 8 : Piston [4]

I.4.3.2.2. Bielle

- Elle transmet la force du piston au vilebrequin.
- Elle participe à la transformation du mouvement [4].



Figure I. 9 : Bielle [4]

I.4.3.2.3. Vilebrequin

Le vilebrequin reçoit l'effort transmis par les pistons et les bielles et fournit un mouvement circulaire à la sortie du moteur. [4.5].

- Il entraîne en rotation certains accessoires (ex: pompe à huile, distributeur d'allumage, etc...) [4].

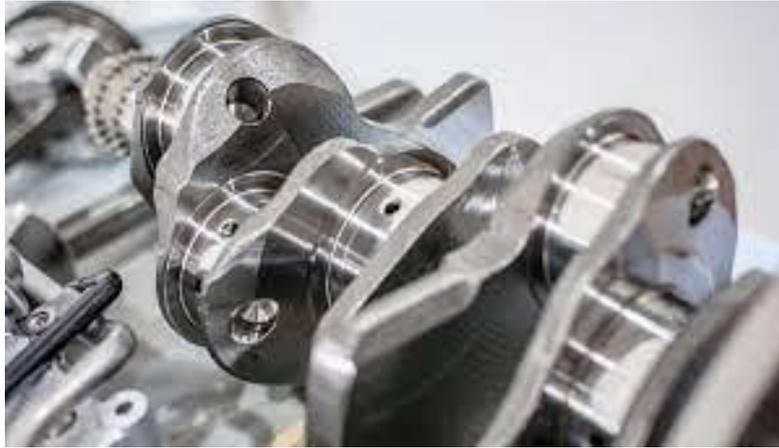


Figure I. 10 : Vilebrequin [4]

I.4.3.2.4. Volant moteur

Le volant moteur est une masse d'inertie servant à régulariser la rotation du vilebrequin. Le volant a également d'autres fonctions secondaires.

- il porte la couronne de lancement du démarreur.
- il porte le système d'embrayage et possède une surface d'appui pour le disque.
- il porte parfois le repère de calage d'allumage ou le déclenchement du repère P.M.H [4].



Figure I. 11 : Volant Moteur [4]

I.4.3.2.5. Soupapes et l'arbre à cames

Une soupape est un organe mécanique de la distribution des moteurs thermiques à quatre temps, permettant l'admission des gaz frais et l'évacuation des gaz brûlés. De manière générale, une soupape d'admission sépare le conduit d'admission de la chambre de combustion, et une soupape d'échappement sépare celle-ci du conduit d'échappement [4,5].



Figure I. 12 : Soupapes et Arbre à Came [5]

I.5. Classification selon le temps

I.5.1. Moteur à deux temps :

Un moteur à deux temps comporte un ou plusieurs pistons qui se déplacent en translation dans les cylindres et effectuent un cycle complet de combustion en seulement deux mouvements linéaires. Le mouvement translatoire du piston au sein du cylindre, par l'intermédiaire des conduits des lumières entre la partie basse du carter et le PMH du cylindre, permet d'évacuer les gaz brûlés et remplir le cylindre de gaz (vapeur de carburant et comburant) frais via la boîte à clapet.

On reconnaît aussi une autre technique de moteurs à deux temps qui se repose sur des admissions et des échappements par soupapes, comme les Diesel de marque Cummins. Aucun gaz ne passe dans le carter, le balayage est fait directement dans le cylindre, l'injection se fait une fois les soupapes fermées [6].

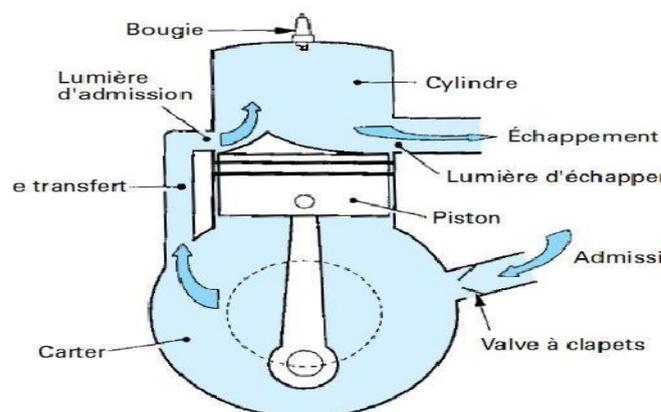


Figure I. 13 : Schéma d'un moteur 2-temps [6]

I.5.1.1. Le cycle de fonctionnement a deux temps :

Le cycle à 2 temps s'effectue pendant seulement un tour de vilebrequin. Les 2 phases de fonctionnement se distinguent par la présence ou non d'échanges gazeux avec l'extérieur.

A. Admission/Compression : le piston balaye le cylindre du point mort bas PMB au point mort haut PMH.

- Processus se déroulant sous le piston: Le canal d'admission des gaz est fermé par le déplacement du piston vers le haut. Du fait de la dépression générée, la soupape d'admission s'ouvre: le mélange air-carburant est aspiré.

- Processus se déroulant au-dessus du piston : Le mélange pré comprimé est comprimé au-dessus du piston.

B. Détente/Echappement : le piston du moteur se déplace du point mort haut PMH au point mort bas PMB.

- Processus se déroulant au-dessus du piston : Le mélange comprimé est allumé juste avant d'atteindre le point mort haut. Par la pression ainsi générée, le piston est poussé vers le bas et ouvre d'abord le canal d'échappement, puis le canal d'admission des gaz. Le mélange pré comprimé sous le piston évacue les gaz d'échappement accumulés vers l'extérieur.

- Processus se déroulant sous le piston : Le mélange aspiré est pré comprimé par le déplacement du piston vers le bas et poussé dans le canal d'admission des gaz. La surpression ferme la soupape d'admission [6].

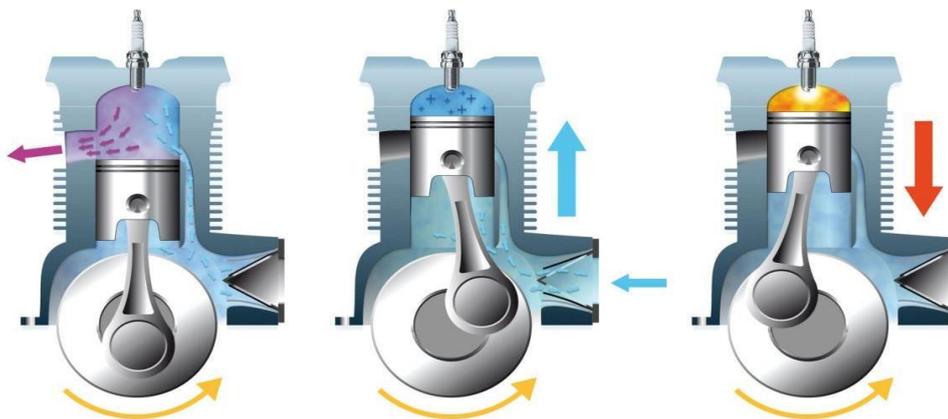


Figure I. 14 : Schéma représentatif d'un cycle 2temps [6]

I.5.2. Moteur à combustion interne à quatre temps :

Le moteur à quatre temps est actuellement le moteur le plus répandu sur le marché et le plus utilisé par les constructeurs, il est défini par ses quatre temps de fonctionnement qui sont : l'admission, la compression, la combustion/détente, et l'échappement.

Les quatre temps correspondent à une rotation de vilebrequin égale à 720° , soit deux tours de vilebrequin. Dans ce cycle nous avons les phases suivantes :

A) Admission (SA ouverte ; SE fermée) :

- Ouverture de la soupape d'admission au point mort haut (PMH) mise à la pression à l'entrée du cylindre,
- L'inertie du cycle précédent entraîne le piston en bas vers le point mort bas PMB
- Remplissage du cylindre par le mélange gazeux,
- Fermeture de la soupape d'admission au point mort bas (PMB),
- Cycle : Augmentation du volume à pression constante (droite AB).

B) Compression : (SA fermée ; SE fermée)

- Les soupapes d'admission et de d'échappement sont fermées,
- Le piston remonte vers le point PMH d'où une forte élévation de pression due à la diminution de volume accompagnée par une élévation importante de la température (celle-ci doit atteindre, au PMH, au minimum 500°C pour assurer l'inflammation spontanée du mélange au moment d'injection),
- Cycle : Montée en pression (courbe BC).

C) Injection – Combustion – Détente (SA fermée ; SE fermée)

- Les soupapes d'admission et d'échappement sont fermées,
- Au PMH, le combustible est injecté dans le cylindre, et cela avant que le cycle atteigne sa pression maximale.
- Temps de combustion : Au PMH, une combustion primaire à volume constant se déclenche par auto-inflammation permet d'atteindre la pression maximum dans le cylindre et qui sous laquelle se déclenche une deuxième combustion (à pression constante),
- Temps de détente : Le piston propulsé vers le bas par la forte pression fait tourner le vilebrequin (temps moteur),
- Cycle : Montée en pression à volume constant (droite CD), augmentation du volume à pression constante (droite DE), Chute de pression (détente : courbe EF).

D) Echappement (SA fermée ; SE ouverte)

- la soupape d'échappement s'ouvre

- la montée du piston chasse vers l'atmosphère les gaz brûlés
- Cycle : Échappement primaire à volume constant (droite EB), Échappement secondaire à pression constante (droite BA) [6].

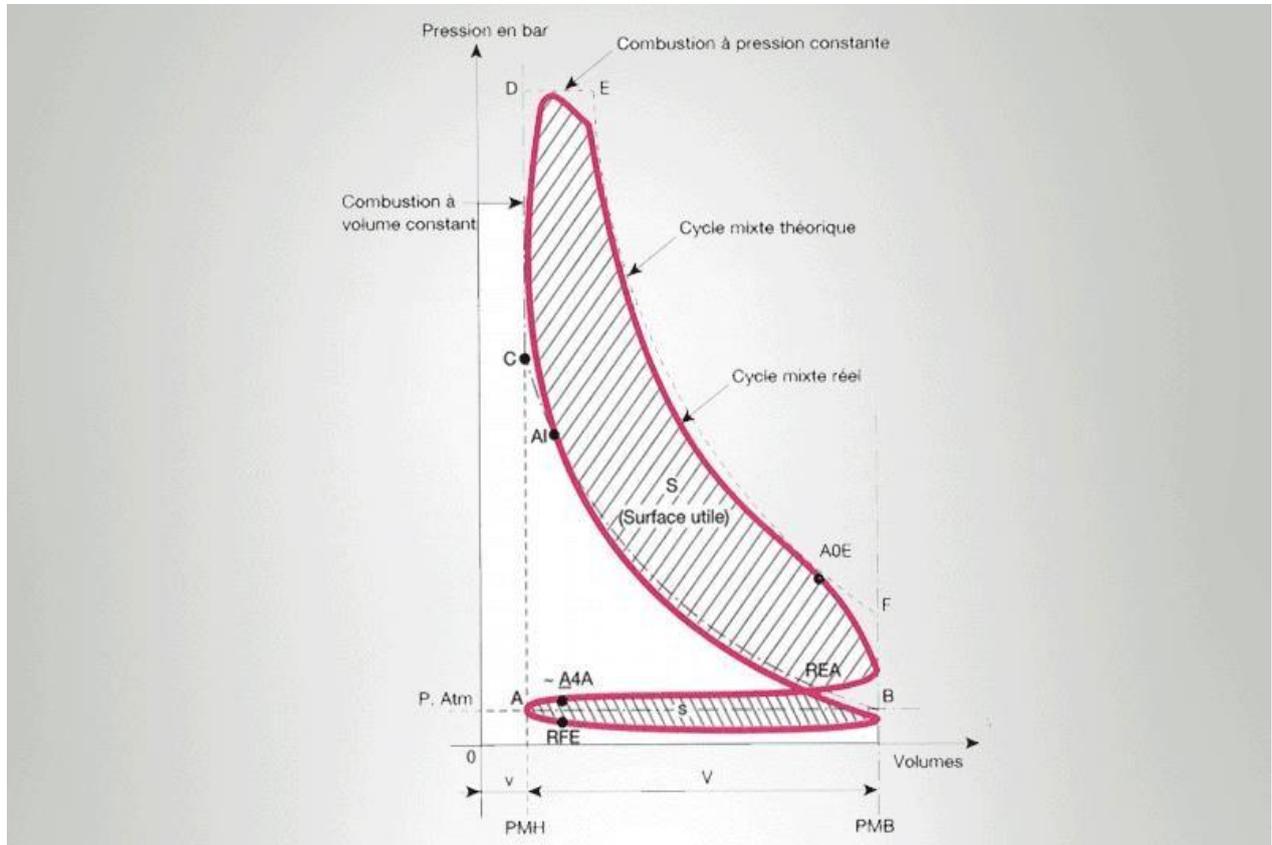


Figure I. 15 : cycle de travail du moteur 4 temps [6]

I.6. Caractéristiques fondamentales du cycle

Les caractéristiques fondamentales du cycle sont :

I.6.1. Le travail

Le travail se représente en diagramme (P – V) par l'aire de la courbe comprise dans le cycle fermé. Sur (la figure I.15), le travail du cycle théorique est représenté par l'aire de la courbe pointillée. Le travail des opérations de transvasement A – B et B – A est représenté par une aire nulle.

Pour un cycle réel, on appelle W_i le travail indiqué, représenté par l'aire de la courbe continue sur la figure II-1. Les opérations de transferts de masse entre le cylindre et l'extérieur se traduisent par une aire qui n'est pas nulle mais positive (surface résistante : s) et qui vient donc se déduire de l'aire négative (surface utile : S) du travail principal du cycle [7].

I.6.2 Pression moyenne

La pression moyenne du cycle représente le travail spécifique du moteur par unité de volume de cylindrée. C'est une valeur conditionnelle et constante de pression qui produit, pendant une seule course de piston, un travail égal au travail du cycle. La pression moyenne représente aussi un élément de comparaison commode qui permet de comparer le travail des moteurs des différentes dimensions. Elle est représentée par la formule suivante :

$$P_{\text{moy}} = \frac{W_{\text{cycle}}}{C_y} \quad (\text{I.1})$$

La cylindrée C_y est le volume de cylindre engendré entre les deux positions extrêmes du piston point mort haut PMH et point mort bas PMB [7].

I.6.3. Rendement

Le rendement du cycle théorique est le rapport entre la valeur absolue du travail du cycle et la quantité de chaleur apportée au cycle (pendant la combustion). Il est représenté par la formule suivante [7] :

$$\eta_{\text{th}} = \frac{W_{\text{cycle}}}{Q_a} \quad (\text{I.2})$$

I.6.4. Taux de compression volumétrique

Le taux de compression volumétrique est défini par le rapport entre le volume total de cylindre (cylindrée + volume mort) sur le volume de la chambre de combustion.

Autrement dit, c'est le rapport entre le volume total aspiré possible (cylindrée + volume mort) et le volume dans lequel on comprime le gaz et se fait la combustion (volume mort V_m). Le taux de compression est représenté par la formule suivante :

$$\varepsilon = \frac{C_y + V_m}{V_m} \quad (\text{I.3})$$

Le taux de compression volumétrique influence fortement le rendement du moteur et il doit être choisi en fonction de la respiration du moteur.

Le taux de compression réel est à peu près égal au précédent multiplié par 3/2 car la compression des gaz s'accompagne d'une dilatation [7].

I.6.5. Consommation spécifique (g/KWh)

La consommation spécifique du moteur définit la qualité de la transformation de l'énergie au sein du moteur. Cette grandeur est proportionnelle à l'inverse du rendement. C'est la quantité de combustible, d'un pouvoir calorifique donné, qui doit être dépensée pour la production d'une

unité d'énergie, par exemple d'un KWh. La consommation spécifique (donc aussi le rendement) dépend, d'une part, de la forme du cycle thermodynamique décrit dans le moteur, d'autre part, des valeurs extrêmes de la température et de la pression atteintes par le gaz [7].

I.6.6. Puissance effective au litre de cylindrée

C'est la puissance spécifique en KW/litre de cylindrée. Elle permet de comparer, entre eux, des moteurs de cylindrée et de conception différente [7].

I.6.7. Puissance massique ou volumique

C'est la puissance du moteur rapportée à sa masse (KW/Kg) ou à son volume (KW/m³). Dans ce dernier cas, le volume peut comprendre, ou non, le volume nécessaire au démontage du moteur et à son entretien. Ces puissances spécifiques permettent de comparer des moteurs dans le cadre de l'endroit où ils devraient être installés [7].

I.7. Comparaison deux temps-quatre temps

Le principal inconvénient du moteur deux temps est la distance courte entre la charge fraîche et les gaz brûlés, qui induisent une perte d'hydrocarbures imbrûlés. L'injection directe, qui consiste à balayer le cylindre avec de l'air pur et à n'injecter le carburant qu'à la fin, permet de résoudre ce problème. De plus, l'huile nécessaire à la lubrification du cylindre se mélange avec le carburant, donc émise dans l'atmosphère, ce qui n'est (presque) pas le cas pour le quatre temps. Ayant deux fois plus de combustions à régime égal qu'un quatre temps, le cylindre a tendance à chauffer, qui peuvent être évités grâce à un système de refroidissement efficace (liquide). Avec un carburateur ou une injection indirecte, le mélange du carburant avec l'air a lieu avant l'admission. Un cycle à quatre temps a alors un meilleur rendement que le cycle à deux temps mais à cylindrée égale est moins performant. En outre, un moteur à quatre temps nécessite une distribution complexe (soupapes, arbres à cames...), et parmi ces quatre temps, un seul est moteur (la détente) ; le piston fournit de l'énergie mécanique une fois tous les deux tours et donc il se produit des irrégularités au niveau du couple du moteur. Enfin, les moteurs quatre temps sont longs et coûteux à réparer à cause du nombre de pièces nécessaires à leur fonctionnement [6]

I.8. La technologie de Camless :

La plupart des moteurs à combustion interne à piston utilisent des arbres à cames à entraînement mécanique pour le fonctionnement des soupapes d'admission et d'échappement. Ces commandes de soupapes mécaniques conventionnelles ont généralement des valeurs fixes pour la levée des soupapes ainsi que pour le calage et la durée des événements de soupape. Ces événements de soupape fixes représentent un compromis entre les exigences contradictoires pour

les différentes conditions de fonctionnement. Jusqu'à récemment, ce compromis était considéré comme acceptable.

Des commandes de soupapes mécaniques simples, fiables et relativement peu coûteuses répondaient à la plupart des exigences de base du moteur, et il n'y avait aucune raison de chercher une solution meilleure, mais leur coût était important.

Récemment, la réglementation sévère sur les émissions en CO₂ et l'exigence de leur réduction en améliorant les économies de carburant afin de réduire les émissions nocives a obligé les concepteurs de moteurs à envisager sérieusement d'autres méthodes de fonctionnement des soupapes et des techniques basées sur des recherches repoussées, qui pourraient donner en résultat un moteur aux performances moins compromises. Suite à cela de nombreux mécanismes à soupapes variables basés sur l'arbre à cames ont été développés.

Les dispositifs complémentaires, qui effectuent un déphasage de l'arbre à cames ou une commutation sur un autre arbre à cames, offrent des améliorations considérables à certains points de fonctionnement du moteur, mais ça reste toujours peu et insuffisant ce qu'on attend d'une soupape variable. Cela pourrait être atteint si le calage, la levée, la durée de l'événement et d'autres paramètres du mouvement de la soupape étaient sélectivement optimisés pour chaque condition de fonctionnement. Pour cela, un système offrant un contrôle total du mouvement des soupapes est nécessaire. Un système de commande des soupapes sans came commandé par microprocesseur, qui a permis d'ajuster en permanence les paramètres cités avant en fonction des conditions de fonctionnement, est un tel système.

Ford Research Laboratory a mis au point un moteur expérimental équipé d'un système électrohydraulique de commande des soupapes sans came (ECV) qui présentait une souplesse de fonctionnement offerte par la commande de soupapes sans cames et qui a permis d'obtenir les améliorations souhaitées dans le fonctionnement du moteur [8].

I.9 Conclusion

Le moteur diesel ainsi que son concurrent le moteur à essence ont presque le même principe de fonctionnement et ils représentent quatre phases, la seule différence réside dans la phase d'admission et celle d'explosion.

Dans ce chapitre, nous avons exposé des généralités sur les deux moteurs à essence et diesel ainsi que leurs différents cycles "deux et quatre temps", pour conclure à la fin avec l'exposition de la

Chapitre I Généralité sur le moteur thermique à combustion interne

technologie "Camless" dite "sans arbre à cames" qui mérite le titre de l'évolution du siècle dans le domaine des moteurs à combustion interne.

Chapitre II

Technologie de

Camless

II.1 Introduction

La technologie de moteur sans arbre à cames représente l'une des dernières évolutions technologiques des moteurs à combustion interne, d'où il a pu réduire la consommation en terme de carburant ainsi la taille et l'encombrement dans le moteur.

Dans ce chapitre, nous avons exposé la technologie des moteurs sans arbre à cames, d'où son évolution, son principe de fonctionnement et ses différents organes et la comparaison entre eux.

II. 2. La technologie de Camless

II.2.1. Apparition et évolution de la technologie "Camless"

Plusieurs sociétés ont étudiées longtemps les trains de soupapes sans came (sans arbre à cames), on retrouve en tête de liste Valeo qui était la toute première à réaliser des recherches sur ces moteur sans arbre à came , Renault, BMW, Fiat, General Motors, Ricardo, Lotus Engineering, Ford, Jiangsu Gongda Power Technologies, Free Valve, et la société sœur de Koenigsegg qui est arrivée enfin à concevoir une super voiture aussi puissante et qui possède cette technologie. Cette technologie est utilisés au début dans les véhicules touristique de grand luxe, En suite c est généralisée pour les navires.

La première déclaration concernant l'intégration de cette technologie dans les moteurs des véhicules routiers de série et leurs commercialisations, remonte au printemps 2015 quand "Christian Von Koenigsegg" a déclaré que la technologie poursuivie par son entreprise.

En novembre 2016, le constructeur automobile chinois Qoros Auto a présenté la berline Qoros 3 au salon de l'automobile de Guangzhou 2016, qui présentait un nouveau moteur « Qoros Qamfree ». [8].

II.2.1. Description

Un moteur à pistons sans came ou à soupapes libres est un moteur qui a des soupapes à clapet actionnées au moyen d'actionneurs électromécaniques , hydrauliques ou pneumatiques au lieu de cames conventionnelles . Les actionneurs peuvent être utilisés à la fois pour ouvrir et fermer des soupapes, ou pour ouvrir des soupapes fermées par des ressorts ou d'autres moyens [9].

II.2.2. Principe de fonctionnement du moteur Camless

Un moteur à explosion **Camless**, utilise une nouvelle technologie, dont le principe consiste à piloter individuellement, à partir d'un calculateur, chaque soupape sans arbres à cames. Ces derniers sont remplacés par des actionneurs hydrauliques, électromagnétiques, électromécaniques, actionnant directement les soupapes au moyen de ces derniers, ce qui nous

donne en général une consommation réduite et en particulier la possibilité d'implémenter parfaitement la distribution variable [10].

II.2.3. L'amélioration du moteur

Le concepteur suédois du moteur Free Valve affirme que le moteur turbocompressé de 1,6 litre (98 pouces cubes) produira 170 kW (230 ch) et 320 N·m (240 lb·ft) de couple. Ils affirment également que, par rapport à un moteur traditionnel similaire, il offre une réduction de 50 % de la taille (y compris une hauteur inférieure de 50 mm), une réduction de 30 % du poids, une amélioration de 30 % de la puissance et du couple, une amélioration de 30 % en économie de carburant et une réduction de 50 % des émissions [10].

II.2.4. Consommation de carburant réduite

La possibilité de régler le chevauchement des soupapes ainsi que la levée des soupapes permet d'abaisser le régime de ralenti. Et par conséquent, de réduire considérablement la consommation de carburant. Une amélioration de 30 % de la consommation de carburant au ralenti était constatée grâce à une commande à mouvement perdu du calage et de la levée des soupapes d'admission. Encore la même réduction de 30 % était constatée en utilisant un arbre à cames réglé pour un fonctionnement à faible vitesse [10].

II.2.5. Temps de réponse à un cycle

La réactivité du moteur à la demande du conducteur est un critère important dans l'évaluation des performances du moteur.

Les moteurs à allumage commandé équipés de systèmes d'injection électronique multipoint peuvent faire passer la quantité de carburant de sa valeur minimale au ralenti à sa valeur maximale à pleine charge en un seul cycle moteur.

Mais il leur faut de nombreux cycles avant que le système d'admission puisse augmenter la charge d'air jusqu'au niveau correspondant à la demande du conducteur. En conséquence, la capacité du système d'alimentation à fournir une réponse instantanée est gaspillée.

Avec le calage des soupapes d'admission à commande électromagnétique, la charge d'air peut être modifiée du minimum au maximum en un cycle, ce qui correspond à la capacité de réponse rapide de l'injection électronique de carburant. En principe, le moteur peut tourner au ralenti pendant un cycle et passer à pleine charge au cycle suivant, tout en maintenant le rapport air/carburant approprié. Bien qu'un changement aussi rapide de la charge du moteur puisse n'être nécessaire qu'occasionnellement, il illustre le potentiel d'amélioration du fonctionnement transitoire du moteur.

Un autre avantage de la commande électronique des soupapes d'admission est qu'elle peut effectuer toutes les tâches d'une commande électronique des gaz, et ce, beaucoup plus rapidement [10].

II.2.6. Désactivation des soupapes du moteur

Désactiver certains cylindres du moteur oblige les cylindres restants à fonctionner à une charge plus élevée pour maintenir une puissance donnée du moteur. Cette charge plus élevée réduit la consommation spécifique de carburant.

Le système de commande du moteur sans arbre à cames peut désactiver sélectivement toute paire (admission ou échappement) de soupapes couplées hydrauliquement à tout moment en interrompant simplement les signaux électriques vers les solénoïdes de commande respectifs. Cela s'applique également aux injecteurs de carburant. Cela réduit efficacement la cylindrée du moteur. Seule une petite quantité de gaz résiduel est piégée dans le cylindre désactivé, ce qui contribue à une faible pression dans le cylindre et, par conséquent, à un faible frottement. Cette entraîne une amélioration significative de la consommation de carburant et des émissions d'hydrocarbures [10].

II.2.7. Réduction de couple de démarrage

La désactivation de certains cylindres au démarrage (soupapes ouvertes, injecteurs de carburant inactifs) réduit considérablement la puissance requise pour un démarreur électrique et, éventuellement, permet de combiner un démarreur et un alternateur en une seule machine électrique réversible [10].

II.2.8. Fréquence d'activation variable

Un système sans arbre à cames peut désactiver les soupapes et les cylindres pour des périodes aussi courtes qu'un cycle. La capacité de sauter sélectivement des cycles d'allumage individuels dans des cylindres individuels peut être utilisée pour améliorer la consommation de carburant et les émissions de gaz d'échappement pendant le fonctionnement à charge partielle. L'effet est similaire à celui obtenu avec la désactivation continue de certains cylindres du moteur, sauf que tous les cylindres sont allumés et que le refroidissement inégal des cylindres désactivés est évité. Cela permet d'éviter un pic d'émission d'hydrocarbures lors de chaque réactivation des cylindres froids [10].

II.2.9. Freinage régénératif

Le moteur sans arbre à cames peut assurer un freinage dynamique très efficace du véhicule. Cela peut se faire par une combinaison d'augmentation de la fréquence d'activation et de désactivation des soupapes. Pour effectuer un freinage dynamique, les soupapes d'échappement

et les injecteurs de carburant sont désactivés tandis que les soupapes d'admission sont ouvertes pendant chaque course descendante du piston. Lorsque la soupape d'admission s'ouvre, l'air comprimé est refoulé dans le collecteur d'admission, ce qui permet de dissiper l'énergie de la charge d'air comprimé. Ce qui produit un travail réduit et une dissipation d'énergie très efficace peut être réalisé.

Au lieu d'être rejeté dans l'atmosphère, l'air comprimé peut être pompé dans un réservoir, puis utilisé pour la suralimentation du moteur pendant l'accélération du véhicule. Cela permet un freinage par régénération qui améliore l'économie de carburant [10].

II.2.10. Réduction de la hauteur et du poids du moteur

La commande des soupapes sans cames élimine le besoin de nombreux composants mécaniques, tels que les arbres à cames, les pignons, les roulements, les poussoirs, les ressorts, etc. qui prennent beaucoup de place sur le dessus d'une culasse classique. Par conséquent, la hauteur et le poids d'un moteur sans cames peuvent être inférieurs à ceux d'un moteur comparable avec soupapes à cames [10].

II.2.11. Espacement flexible des soupapes

Toutes les soupapes d'un moteur conventionnel doivent être situées dans des plans perpendiculaires à l'axe de l'arbre à cames. Cette restriction n'existe pas dans le moteur sans came, où chaque soupape peut occuper n'importe quelle position dans la culasse. Cela crée des possibilités de conception supplémentaires pour l'espacement des soupapes autour de la chambre de combustion [10].

II.3. Les organes du moteur sans arbre à cames

La différence entre les organes d'un moteur conventionnel et celle d'un moteur Camless n'est pas vraiment grande mais suffisant pour apporter une amélioration importante et des caractéristiques plus intéressantes a ce dernier, cette différence se résume dans :

II.3.1. La Culasse

La pièce moulée en aluminium se trouve dans les limites d'origine et contient tous les passages hydrauliques reliant les composants du système. Les réservoirs hydrauliques haute et basse pression sont intégrés à la pièce moulée. Les réservoirs et les passages occupent les niveaux supérieurs de la culasse et font partie du système hydraulique. Le fluide hydraulique est complètement séparé du système d'huile moteur.

Les soupapes du moteur, les clapets anti-retour et les modificateurs sont entièrement enfouis dans le corps de la culasse. Les électrovannes sont installées sur le dessus de la culasse et sont maintenues à leur emplacement par un couvre-culasse [4].



Figure II. 1 : La Culasse d'un moteur Camless [4]

II.3.2. Soupape du moteur

Le piston de la soupape est fixé au sommet de la soupape, ils glissent à l'intérieur d'un manchon. Les ouvertures du manchon au-dessus et au-dessous du piston de la soupape permettent au fluide hydraulique d'entrer et de sortir. Un joint dans la partie inférieure du manchon assure l'étanchéité et empêche toute fuite de fluide dans l'orifice d'admission ou d'échappement [11].

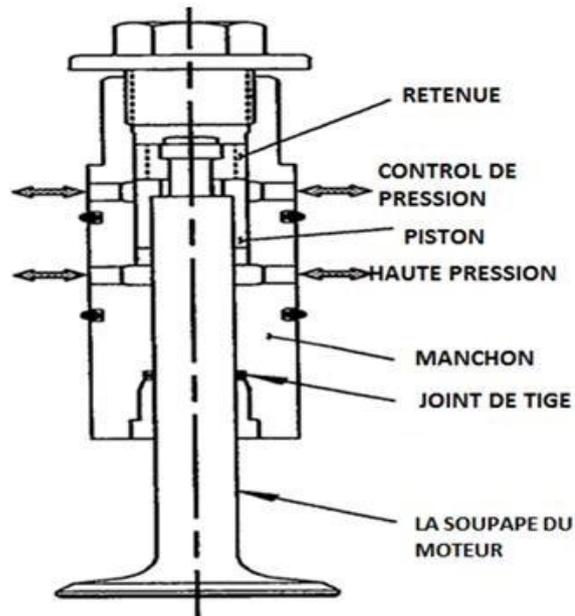


Figure II. 2 : Soupape d'un moteur Camless [11]

II.3.2.1. Actionnement des soupapes sans arbre à cames

Afin d'avoir la possibilité d'augmenter la flexibilité du mouvement de l'évènement de soupape sans augmenter la complexité mécanique associé, nous utilisons ce qu'on appelle "système d'actionnement de soupapes sans cames" ou bien " Camless " qui supprime l'arbre à cames en la remplaçant par des systèmes a contrôle électronique en vue d'actionner les soupapes moteur.

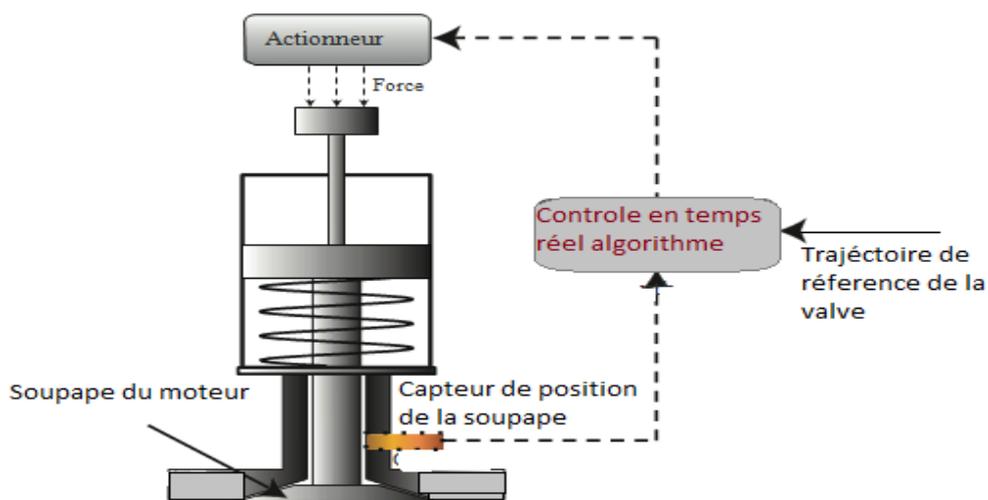


Figure II. 3 : Schéma d'un système général d'actionnement de soupapes de moteur sans came [11]

La figure nous donne un schéma général qui représente les idées les plus fondamentales associé à l'actionnement des soupapes sans cames, comme chaque soupape est actionnée

indépendamment, il est possible d'intégrer toutes les flexibilités dans un seul et même système, c'est-à-dire de faire varier le calage, la levée et la durée de l'évènement des soupapes sur une base cycle [11].

II.3.3. Exigences

Afin d'être viable pour une application à grand échelle, le système d'actionnement des soupapes doit être aux normes de certaines exigences citées ci en bas :

II.3.3.1. Contrôle robuste de mouvement de la soupape:

Un contrôle robuste de la position permet des profils de soupape répétable en présence de perturbations telles que des forces de gaz variables et d'autres conditions de fonctionnement du moteur. Éviter les collisions entre les soupapes et les pistons est une exigence absolue [12].

II.3.3.2. Assise souple

Pendant la fermeture de la soupape, la vitesse à laquelle la valve a un impact sur son siège comme vitesse des sièges. Les vitesses d'appui (vitesse d'assise) de la soupape frappante excessivement son siège, entraînent une augmentation du bruit de la soupape et une usure accélérée, du coup elle doit en exigence être minimiser [12].

II.3.3.3. Consommation d'énergie

L'élimination de l'arbre à cames réduit considérablement les pertes de friction dans le contrôle de la soupape. Cependant, la consommation d'énergie de l'actionneur de soupape contribue au rendement global du moteur. Elle doit être réduite et adapter à celle de systèmes à cames pour justifier la modification [12].

II.3.3.4. Coût du système

L'exigence de composants de haute précision/complexes pour la détection, de l'actionnement et Le contrôle peut entraîner une augmentation du coût global du système en raison de la multiplicité de soupapes de moteur qui varient généralement sur une marge de 16 à 32%. Par conséquence, il est donc souhaitable de développer des actionneurs basé sur des sous-systèmes peu coûteux [12].

II.3.3.5. Simplicité de commande et effort d'étalonnage :

Les algorithmes de commande des actionneurs dépendent largement des caractéristiques du système, qui sont en fonction de l'architecture du système et les paramètres de conception, Des problèmes telle la non-linéarité, les limitations de l'autorité de contrôle, La variation/incertitudes des paramètres peuvent tous conduire à l'exigence d'une stratégies commande compliqué et

nécessitent des étalonnages étendus qui sont difficiles à mettre en œuvre pendant la grande production [12].

II.3.3.6. Taille du système :

La densité de puissance du système d'actionnement et la taille des éléments de détection déterminent la taille globale du système de commande de soupape sans came, qui doit aussi être comparable aux systèmes basés sur l'arbre à cames conventionnels pour permettre la mise en œuvre avec modifications minimales à l'infrastructure existante [12].

II.4. Les systèmes d'actionnement des soupapes sans came

Ces derniers peuvent être classés en fonction de la source d'énergie utilisée pour l'actionnement.

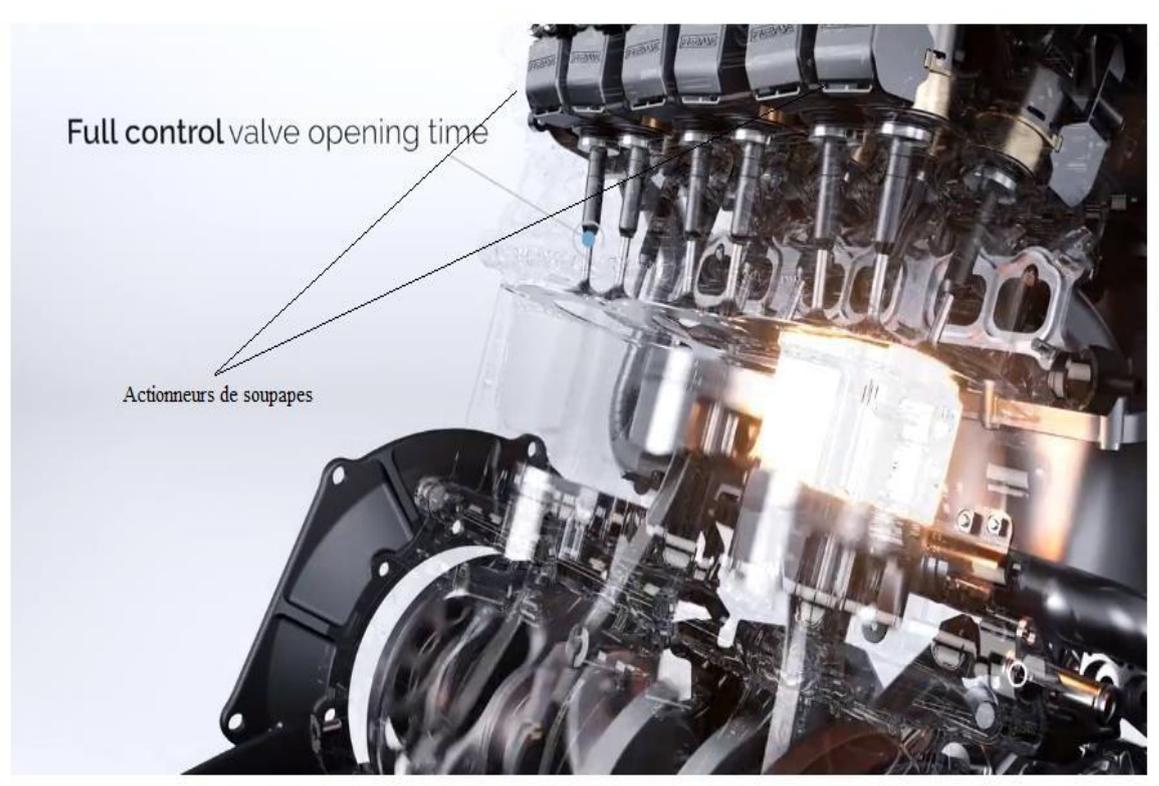


Figure II. 4 : Actionnement des soupapes [13]

II.4.1. Systèmes électromécaniques

Les systèmes électromécaniques les plus courants, sont basés sur l'utilisation de solénoïdes ou de moteurs à courant continu linéaires. Ou des moteurs rotatifs à courant continu avec une réponse très rapide pour contrôler précisément la position de la soupape du moteur via une liaison mécanique. Pour des systèmes électromécaniques typiques de type linéaire, la consommation d'énergie est minimisée en utilisant des ressorts pour capturer l'énergie cinétique de la soupape en mouvement et l'utiliser pour déplacer la soupape dans la direction opposée. La

force électromagnétique n'est nécessaire que pour fournir l'énergie supplémentaire pour surmonter la friction et de maintenir la soupape aux positions d'extrémité. La non-linéarité de la force électromécanique et le délai dû à l'inductance des bobines rendent difficile le contrôle de la soupape aux deux extrémités de sa trajectoire. Des stratégies de contrôle complexes sont nécessaires pour assurer une assise souple et une opération de levée variable. Pour les systèmes avec des actionneurs de type rotatif, l'exigence d'un moteur relativement grand pour fournir la force d'actionnement requise peut augmenter de manière considérable la taille de l'ensemble du système [13].

II.4.2. Systèmes électro hydrauliques

Les systèmes électro hydrauliques utilisent une hydraulique sous pression pour fournir la force d'actionnement. Ils ont une bonne autorité de contrôle sur toute la gamme de mouvements, sont capables de fonctionner avec des levées variable et ont une densité de puissance supérieure qui permet de recevoir des systèmes compacts. Les systèmes électro hydrauliques orientés vers la production est basés sur des soupapes peu coûteuses ont des difficultés à assurer un mouvement précis de la soupape et un contrôle efficaces de la vitesse d'assise. Les systèmes de laboratoire orientés vers la Recherche utilisent des servovalves de précision pour obtenir un mouvement précis des soupapes. Le coût élevé des servovalves et la consommation d'énergie élevée due à l'étranglement du fluide hydraulique au cours d'une grande partie de fonctionnement de la soupape, les rendent inadapté pour la production de masse [13].

II.5. Avantages des moteurs sans arbres à cames

- Il offre une réduction de 50 % de la taille.
- Il offre une réduction de 30 % du poids.
- Il offre une réduction de 50 % des émissions.
- Il offre une amélioration de 30 % en économie de carburant.
- Il offre une amélioration de 30 % de la puissance et du couple.
- Il offre une réduction de la quantité de lubrifiant nécessaire au moteur.
- Il offre une augmentation du rendement globale dans le moteur en éliminant les pertes par frottement.
- Il offre une augmentation de la durabilité et la longévité du moteur [10].

II.6. Inconvénients des moteurs sans arbres à cames

- Les pièces de rechanges sont trop chères.
- Les actionneurs utilisés sont rares à les trouver.

- Les soupapes sont trop coûteuses.
- Le coût élevé des servovalves [7].

II.7. Concept d'arbre à came

II.7.1. Définition

L'arbre à cames, appelé également « arbre de distribution », commande l'ouverture des soupapes, en transformant le mouvement rotatif issu du moteur en mouvement longitudinal actionnant les soupapes. Il s'agit d'un arbre, entraîné par des pignons, une chaîne ou une courroie crantée [7].

II.8. Comparaison entre le moteur avec arbre à came et le moteur de Camless

- **Pour un moteur avec arbre à came** : Le mouvement est transmis du vilebrequin jusqu'à l'arbre à cames par l'intermédiaire de la courroie de distribution à partir du pignon de vilebrequin puis le mouvement de rotation est transformé en mouvement de translation à travers l'arbre à cames qui fait actionner les soupapes.
- **Pour un moteur de Camless** : il est actionné par des actionneurs électromécaniques, hydrauliques et pneumatiques. En éliminant des pièces comme : (la courroie de distribution, arbre à came le cache de l'arbre a came, le cache de l'arbre à came.....) [7].

II.9 Conclusion

La technologie Camless avec ses caractéristiques qui défi celle des moteurs arbres à cames en terme des facteurs économique, écologique et technique demeurera le choix d'avenir pour les constructeurs.

Ce deuxième chapitres était consacré pour l'exposition de la technologie Camless, son évolution au fil des dernières années, son fonctionnement, ses différents organes en général et l'organe d'actionnement en particulier.

Chapitre III
Caractéristiques du
navire TIN ZIRE

III.1. Introduction

Après avoir évoqué dans les précédents chapitres les bases théoriques des moteurs à combustion interne, de leurs principes et modes de fonctionnement, de leurs différents types y compris le moteur sans arbre à came en citant ses avantages et ses inconvénients, nous consacrerons ce présent chapitre, à une étude de cas d'un navire porte-conteneurs algérien équipé d'un moteur deux temps diesel sans arbre à came modèle "STX-MAN B&W 5G45ME-C9.5". Ce navire est rattaché à la compagnie nationale algérienne de navigation "CNAN-Nord".

III.2 Présentation du navire

Le navire TIN ZIREN, est de type General Cargo ship a été construit en 2016 et navigant sous le pavillon de "Algeria", Equipé d'une technologie première en Algérie.

Sa longueur est de 146.95 mètres et sa largeur est de 23.07 mètres, et un tirant d'eau de 5.7 mètres, avec une vitesse de croisière de 10.2 nœuds et une vitesse maximale de 15 nœuds [14].



Figure III. 1 : General cargo TIN ZIREN [14]

III.2.1. Les caractéristiques du navire

IMO	9697325	Indicatif d'appel	7THG
Nom	TIN ZIREN	Drapeau	Algérie (DZ)
Type de navire	General cargo	Longueur total * largeur externe	146.95 * 23.07
Statu	Active	DWT Summer	12550 t
MMSI	605086070	Jauge brute	11494
Vitesse	10.2 à 15 max	Année de construction	2016

Tableau III. 1 : Caractéristiques du navire General cargo TIN ZIREN [14]**III.3. Moteur diesel**

Il existe un moteur in-bord, de propulsion de type "STX-MAN B&W 5G45ME-C9.5" développant 4800 kw. Il fonctionne en mode diesel ou gaz et le fioul lourd, de type 2 temps sans arbre à cames. Il est turbocompressé.

III.3.1. Paramètres du moteur

La marque du moteur	5G45ME-C9.5
Nombre des cylindres	5
Diamètre du piston	450 mm
Course du piston	2250 mm
Puissance	4800 kw
Vitesse du vilebrequin	94 rpm (tr/min)
P_{max}	185 bar
Vitesse du piston	7.5 m/s
ordre de tir	1-4-3-2-5

Tableau III. 2 : Caractéristiques générales du moteur [14]

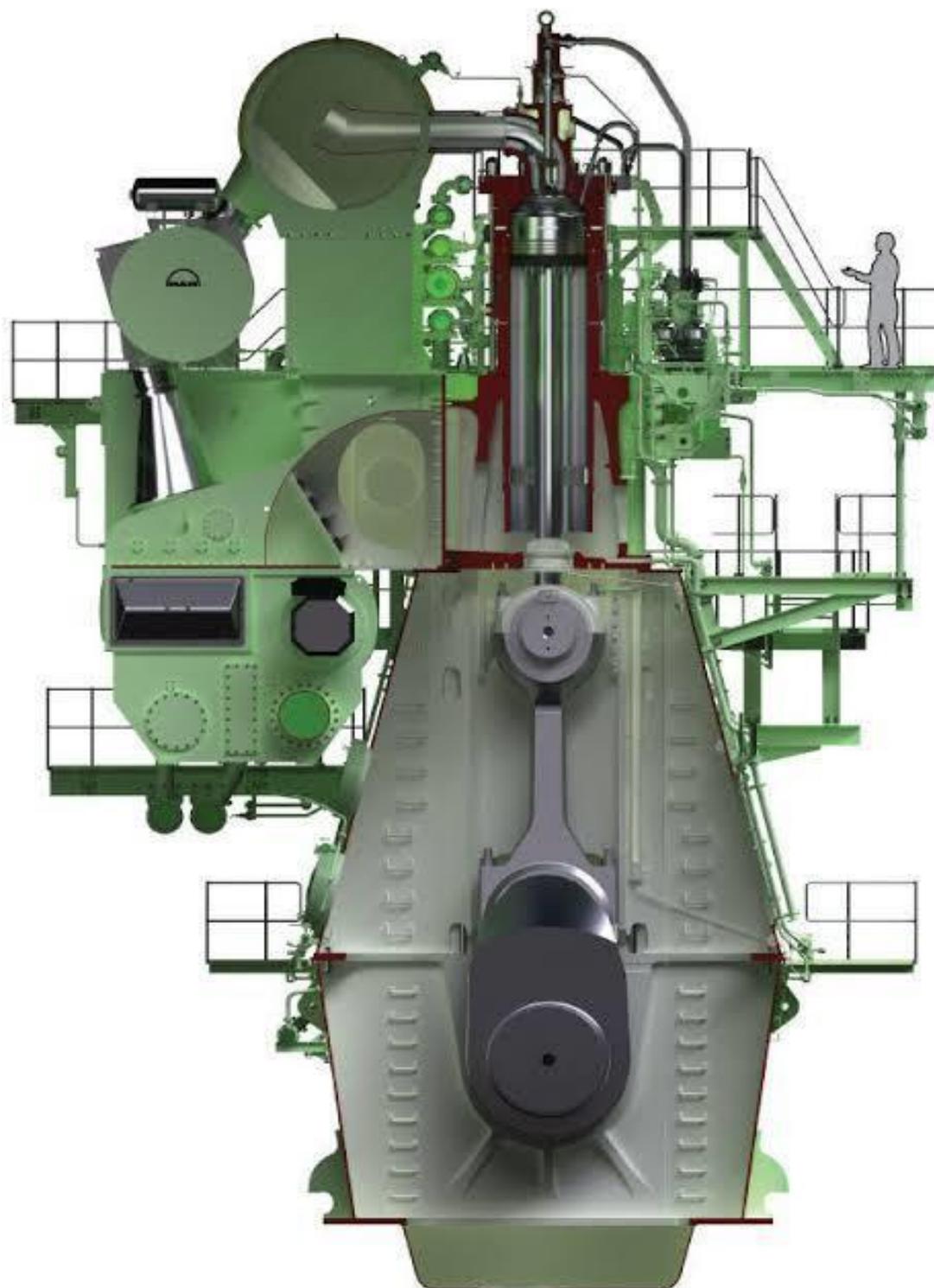


Figure III. 2 : Une vue pour le moteur [14]

III.4. Cycle suralimenté avec turbine à pression Constante

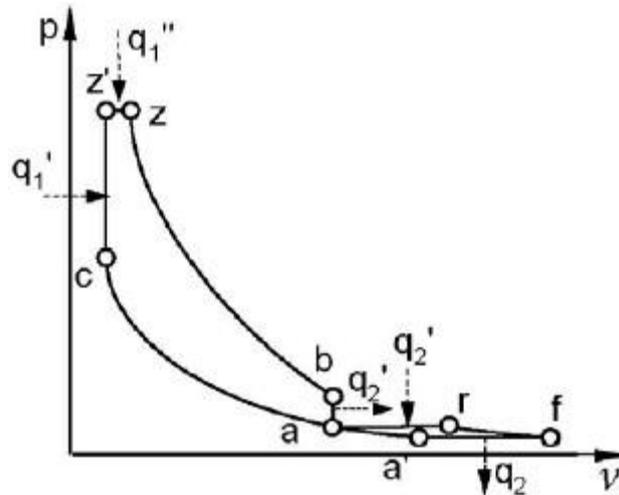


Figure III. 3 : Schéma de fonctionnement d'un cycle suralimenté avec turbine à pression Constante [15]

III.4.1. Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement de ce type de moteur est analogue à celui du moteur avec turbine à pression variable, sauf que dans ce cas, les gaz à la sortie du cylindre du moteur se détendent isobarement dans la turbine (a-r), alors que dans le cas précédent, ils se détendent adiabatiquement et la chaleur cédée à la source froide q_2' par le moteur est égale celle transmise vers la turbine du turbocompresseur [15].

III.4.1.1. Rendement thermique du cycle

La chaleur transmise à la source froide de n'importe quel cycle dans le cadre général s'écrit:

$$q_2 = q_1 (1 - \eta_t) \quad (\text{III.1})$$

Pour le cycle acz'zb du moteur à combustion mixte

$$\eta_t = \frac{1 - \lambda \rho^k - 1}{q_1 \frac{\varepsilon^{k-1}}{\lambda - 1 + k\lambda} (\rho - 1)} \quad (\text{III.2})$$

Le rendement thermique du turbocompresseur arfa'a

$$\eta_t = 1 - \frac{|q_2|}{q_2'} \quad (\text{III.3})$$

Avec : $\eta_{tk} = 1 - \frac{1}{\varepsilon_k^{k-1}}$ (III.4)

D'où :

$$q_2 = q'_2 \frac{1}{\varepsilon_k^{k-1}} \quad (\text{III.5})$$

En remplaçant q_2 par son expression dans l'équation suivante on obtient:

$$q_1 = \frac{1}{\varepsilon_0^{k-1}} \frac{\lambda \rho_k - 1}{\lambda - 1 + k\lambda(\rho - 1)} \quad (\text{III.6})$$

D'où le rendement thermique:

$$\eta = 1 - \frac{1}{\varepsilon_0^{k-1}} \frac{\lambda \rho^k - 1}{\lambda - 1 + k\lambda(\rho - 1)} \quad (\text{III.7})$$

III.4.1.2. Pression moyenne du cycle

Par analogie avec le moteur avec turbine à pression variable on a:

$$q = c_v T_0 \varepsilon^{k-1} [(\lambda - 1) + k\lambda(\rho - 1)] \quad (\text{III.8})$$

$$\rho_c = \frac{q_1 \eta_t}{v_h} \quad (\text{III.9})$$

$$v_h = \frac{v_a}{\varepsilon} (\varepsilon - 1) \quad (\text{III.10})$$

$$c_v T_{a'} = \frac{\rho_a v_{a'}}{k - 1} \quad (\text{III.11})$$

$$\rho v_{a'} = \frac{\rho_a v_a}{\varepsilon_k^{k-1}} \quad (\text{III.12})$$

En remplaçant les paramètres par leurs valeurs et en procédant aux transformations analogues aux précédentes on obtient:

$$\rho_c = \frac{\rho_a \varepsilon^{k-1}}{(k-1)(\varepsilon-1)} [(\lambda-1) + k\lambda(\rho-1)] \eta_t \quad (\text{III.13})$$

III.4.2. Dimensions principales du cylindre

- Cylindrée total (v_t) :

$$V_t = \pi \frac{D^2 S}{4} \quad (\text{III.14})$$

D : diamètre de piston

S : Course de piston

I : nombre de cylindres

$$V_t = 3.14 \frac{(45)^2}{4} 225 * 5$$

$$V_t = 1788.328 \text{ litres}$$

- **Cylindrée unitaire (v_h)**

$$V_t = v_h \cdot i \quad \rightarrow \quad V_h = \frac{v_t}{i} \quad (\text{III.15})$$

$$V_h = \frac{1788.328}{5} = 357.65 \text{ litre}$$

III.5. Concept du moteur et disposition du système mécanique et hydraulique

Le concept du moteur concerne principalement l'utilisation d'un système hydraulique mécanique pour l'actionnement des pompes d'injection de carburant et des soupapes d'échappement, qui sont contrôlées électroniquement par un système de commande informatisé.

L'introduction de l'injection hydraulique et de l'actionnement de l'échappement nécessite une alimentation hydraulique, conçue avec tous les éléments nécessaires [14].

III.5.1. Le cylindre hydraulique

L'unité de cylindres hydrauliques est constituée d'un bloc de distribution, d'un d'injecteur de carburant à commande électronique et d'un système d'actionnement des soupapes d'échappement à commande électronique.

Le bloc de distribution sert de support mécanique pour le suppresseur de pression de carburant à commande hydraulique et l'actionneur de soupape d'échappement, chacun avec sa soupape de commande à commande électronique ELFI/ ELVA ou FIVA commune, respectivement.

Les soupapes de démarrage sont ouvertes pneumatiquement en activant les électrovannes. Pour la lubrification des cylindres, le système Lube est utilisé, avec des lubrificateurs situés sur le HCU [14].

III.5.2. Lubrification du système

L'huile de lubrification du système principal est utilisée comme fluide hydraulique. L'huile est filtrée par l'unité de filtrage afin d'obtenir la pureté appropriée pour une utilisation dans un système hydraulique à huile. L'huile est ensuite mise sous pression soit par les pompes entraînées par le moteur, soit par les pompes électriques, lorsque le moteur tourne.

Dans le bloc de sécurité et d'accumulation, l'huile sous pression est accumulée pour garantir une alimentation stable en huile aux unités de cylindres hydrauliques (HCU).

Un HCU est monté sur chaque cylindre. Le HCU comprend un bloc de distribution, portant le booster de pression du fioul à commande hydraulique et l'actionneur de la soupape d'échappement.

Les soupapes de commande (respectivement les soupapes ELFI, ELVA ou la soupape FIVA) et les accumulateurs nécessaires sont montés sur le bloc de distribution.

Le bloc relie l'alimentation en huile haute pression à la fois au système d'injection de carburant et au système d'actionnement des soupapes d'échappement [14].

III.5.3. Injection du fuel

Le système d'injection de fuel se compose d'un supprimeur de fioul à actionnement hydraulique de carburant activé hydrauliquement avec la vanne de commande associée, les tuyaux haute pression et les soupapes de carburant.

Le système d'actionnement des soupapes d'échappement se compose d'un actionneur de soupape d'échappement avec la soupape de commande associée, la tige de poussée de l'huile (haute pression) et les soupapes de carburant. Commande associée, la tige de poussée de l'huile (tuyau haute pression), et enfin la soupape d'échappement.

Les soupapes de carburant et la soupape d'échappement à commande hydraulique sont similaires [14].

III.6. Actionneur de soupape d'injection de carburant d'un navire

La pompe électrique primaire de mazout fait circuler le mazout préchauffé à travers le booster de pression du mazout et la vanne de carburant. Le fioul passe à travers la vanne de carburant, sort par un alésage de circulation et le tuyau de retour d'huile sur la tête de soupape. Lorsque la pression au début de la course de refoulement du sur-presseur de fuel a atteint la pression prédéterminée, les alésages de circulation sont fermés. Lorsque la pression a atteint la valeur d'ouverture prédéterminée de la vanne de carburant, la tige se soulève.

La soupape de carburant, la tige est soulevée et l'huile est injectée par le gicleur dans le cylindre du moteur.

A la fin de la course de refoulement du sur-presseur de fuel, la tige de la soupape est pressée contre son siège et l'injection cesse. Alors Ensuite, l'alésage de circulation est découvert et l'huile commence à recirculer dans la soupape [14]

III.7. Pompes actionnées par moteur

Toutes les pompes à l'huile hydrauliques entraînées par le moteur sont de type à déplacement variable. La cylindrée est contrôlée électroniquement par l'ECS via une valve de contrôle intégrée aux pompes.

Les pompes fonctionnent lorsque le moteur tourne, car elles sont entraînées mécaniquement par l'ensemble des engrenages, qui est relié en permanence au vilebrequin. Leur débit est déterminé par la cylindrée réelle et la vitesse de rotation. Les pompes sont conçues pour avoir deux sens de rotation et un sens d'écoulement correspondant.

Cela est nécessaire car la plupart des moteurs sont réversibles. Lors de l'inversion du moteur, la commande de déplacement de l'ECS doit activer le plateau oscillant pour changer le sens de l'écoulement.

Les pompes entraînées par le moteur fournissent la pression hydraulique nécessaire au moteur lorsqu'il est en marche. En cas de défaillance d'une pompe, les autres pompes sont dimensionnées pour être capables de fournir suffisamment d'huile hydraulique correspondant à une charge de 100 % du moteur. En cas de coupure de l'alimentation électrique de la vanne de contrôle de déplacement de la pompe, la pompe se déplace mécaniquement au maximum.

Les clapets anti-retour sont installés pour permettre à une pompe entraînée par le moteur, qui pompe dans le mauvais sens, de fonctionner dans le bon sens. Dans le mauvais sens, d'aspirer du côté aspiration et de renvoyer l'huile du côté aspiration [14]

III.8. Système de refroidissement par eau de mer

Le système de refroidissement à l'eau de mer est un système à basse température. Cependant, pour être sûr que l'huile de lubrification est maintenue à un niveau de viscosité adapté au transfert de chaleur, un dispositif de recirculation contrôlé par la vanne thermostatique, permet de s'assurer que la température d'entrée de l'eau de refroidissement ne descende pas en dessous de 10 °C [14].

Le système de refroidissement du moteur marin est composé de trois circuits.

- Le circuit d'eau de mer (circuit ouvert) ;

- Le circuit d'eau douce (circuit fermé) ;
- Le circuit d'huile (circuit fermé)

L'eau de mer est à la disposition du navire lorsqu'il est à flot, le circuit est donc ouvert, elle est aspirée dans des réservoirs placés dans les parties basses de la coque. Elle récupère la chaleur de l'eau douce dans des réfrigérants tubulaires ou à plaques, puis est rejetée à la mer au niveau de la flottaison légère.

Le circuit d'eau douce est composé de tuyauteries d'une pompe et d'un réservoir gravitationnel que l'on appelle « caisse en charge ». Ce réservoir sert à garder une pression potentielle résiduelle dans le circuit, et à laisser s'échapper les éventuelles fuites de gaz chauds que l'on contrôlera par la variation de niveau de cette caisse. L'eau entre par le bas des cylindres pour refroidir graduellement et pour éviter des contraintes thermiques trop importantes. La sortie se fait au point supérieur de chaque cylindre pour éviter la formation de poches d'air. Elle passe ensuite refroidir la culasse. Le refroidissement de la paroi de la culasse, qui est fortement chauffée par la flamme est généralement activé par une tuyère qui injecte l'eau à grande pression. Une partie de l'eau peut être dérivée pour le refroidissement des soupapes, le reste passe à la chemise d'eau du collecteur avant de quitter le moteur vers le réfrigérant.

Le circuit d'eau douce comprend les éléments suivants :

- Le réfrigérant d'eau douce ;
- La chemise ;
- Le bloc-cylindres ;
- La culasse ;
- Le turbo-chargeur ;
- Le réfrigérant d'huile de lubrification ;
- La pompe de circulation ;
- La caisse en charge.

La chemise, la culasse, les cylindres sont refroidis par l'eau douce, tandis que le piston est refroidi par l'huile. Donc, la chaleur produite pendant la combustion est absorbée de la chemise au travers de l'eau douce de refroidissement, pendant que la chaleur produite par la friction du palier est en partie absorbée par l'huile de lubrification qui revient au carter. L'huile du carter est refroidie dans un réfrigérant d'huile par l'eau douce. Les pressions sont gérées de manière qu'au

pire, en cas de fuites, ce soit l'huile (plus haute pression) qui aille vers l'eau douce (pression intermédiaire), et que cette dernière aille vers l'eau de mer (plus basse pression).

Le circuit eau douce comporte des plaques de zinc (anodes sacrificielles) qui le protègent en partie de la corrosion galvanique. Elle est particulièrement à craindre avec l'eau de mer mais également avec l'eau douce.

Pour un premier remplissage, l'eau brute doit être impérativement soit de l'eau complètement dessalé soit de l'eau condensée provenant du bouilleur (appareil qui produit l'eau douce à partir de l'eau de mer) ou de l'unité des chaudières avec des additifs. L'eau condensée étant extrêmement corrosive elle doit être conditionnée par des inhibiteurs de corrosion.

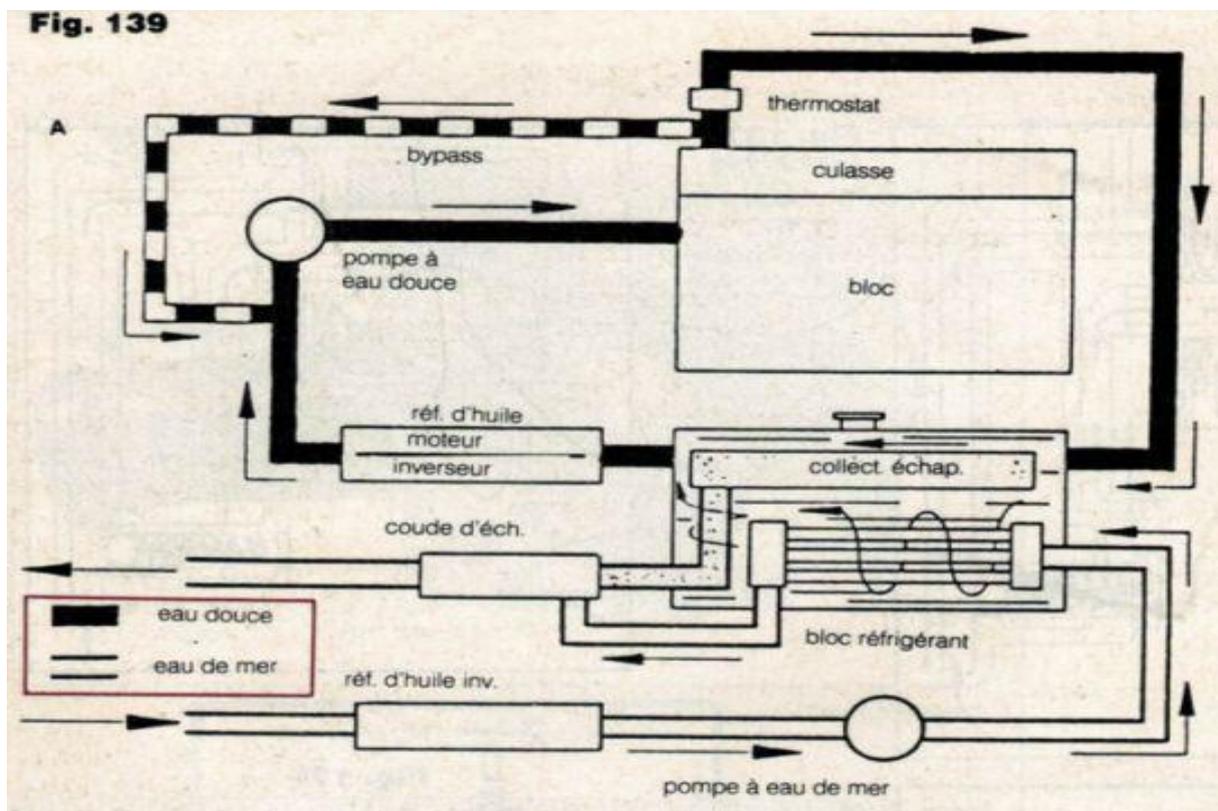


Figure III. 4 : Schéma de refroidissement par l'eau de mer [14]

III.9. Les charges du moteur

Les charges du moteur dépendent généralement du volume et du poids de la cargaison ainsi les conditions de la navigation (l'état de la mer).

La variation des paramètres (pression de combustion, pression de compression, DP , P_i , température de gaz d'échappement sortie cylindre, température de sortie cylindre H/T,

température de sortie du P.C.O) de chacun des cinq cylindre en fonction de la charge du moteur est représenté dans les tableaux suivants :

➤ **Données de performance d'une charge vide**

Nombre de cylindre	Unité	1	2	3	4	5
pression de combustion (max)	MPa	15.99	16.52	13.30	14.98	16.57
pression de compression	MPa	13.95	13.28	13.23	13.17	13.78
$\Delta P (P_{\max} - P_{\text{comp}})$	MPa	2.04	3.24	0.07	1.81	2.79
P_i	MPa	1.63	1.64	0.12	1.64	1.64
température des gaz d'échappement sortie cyl.	C°	415	360	170	380	420
Température de sortie du cylindre H/T	C°	85	84	80	85	85
Température de sortie du P.C.O.	C°	54	53	50	56	56

Tableau III. 3 : Donnée de performance d'une charge vide sur le moteur [14]

➤ **Données de performance pour une charge de 25%**

Nombre de cylindre	Unité	1	2	3	4	5	Moy
pression de combustion (max)	MPa	11.93	12.11	12.05	12.11	12.02	12.04
pression de compression	MPa	8.11	8.09	8.08	8.10	8.06	8.09
$\Delta P (P_{\max} - P_{\text{comp}})$	MPa	3.82	4.02	3.97	4.01	3.96	3.96
P_i	MPa	0.71	0.70	0.70	0.69	0.68	0.70
température des gaz d'échappement sortie cyl.	C°	220	215	220	230	215	220
Température de sortie du cylindre H/T	C°	80	80	80	80	80	80
Température de sortie du P.C.O.	C°	49	48	48	49	49	48.6

Tableau III. 4 : Donnée de performance d'une charge à 25% sur le moteur [14]

➤ **Données de performance pour une charge de 50%.**

Nombre de cylindre	Unité	1	2	3	4	5	Moy
pression de combustion (max)	MPa	15.15	15.19	15.12	15.26	15.21	15.19
pression de compression	MPa	11.61	11.66	11.61	11.62	11.60	11.62
$\Delta P (P_{\max} - P_{\text{comp}})$	MPa	3.54	3.53	3.51	3.64	3.61	3.57
P_i	MPa	1.12	1.09	1.10	1.10	1.09	1.10
température des gaz d'échappement sortie cyl.	C°	275	270	275	290	275	277
Température de sortie du cylindre H/T	C°	82	82	82	83	82	82.2
Température de sortie du P.C.O.	C°	52	51	52	52	52	51.8

Tableau III. 5 : Donnée de performance d'une charge à 50% sur le moteur [14]

➤ **Données de performance pour une charge de 75%.**

Nombre de cylindre	Unité	1	2	3	4	5	Moy
pression de combustion (max)	MPa	17	17.04	16.79	17.11	16.88	16.96
pression de compression	MPa	13.52	13.66	13.56	13.58	13.54	13.57
$\Delta P (P_{\max} - P_{\text{comp}})$	MPa	3.48	3.38	3.23	3.53	3.34	3.39
P_i	MPa	1.46	1.43	1.45	1.44	1.44	1.44
température des gaz d'échappement sortie cyl.	C°	315	315	330	320	320	320
Température de sortie du cylindre H/T	C°	82	81	82	82	82	81.8
Température de sortie du P.C.O.	C°	54	53	54	55	55	54.2

Tableau III. 6 : Donnée de performance d'une charge à 75% sur le moteur [14]

➤ **Données de performance pour une charge de 100%.**

Nombre de cylindre	Unité	1	2	3	4	5	Moy
pression de combustion (max)	MPa	18.64	18.56	18.36	18.62	18.45	18.53
pression de compression	MPa	15.44	15.65	15.58	15.49	15.52	15.54
$\Delta P (P_{\max} - P_{\text{comp}})$	MPa	3.20	2.91	2.78	3.13	2.93	2.99
P_i	MPa	1.74	1.72	1.74	1.73	1.73	1.73
température des gaz d'échappement sortie cyl.	C°	380	380	400	390	385	387
Température de sortie du cylindre H/T	C°	84	84	85	85	84	84.4
Température de sortie du P.C.O.	C°	57	56	57	57	57	56.8

Tableau III. 7 : Donnée de performance d'une charge à 100% sur le moteur [14]

➤ **Données de performance pour une charge de 110%**

Nombre de cylindre	Unité	1	2	3	4	5	Moy
pression de combustion (max)	MPa	18.59	18.42	18.48	18.67	18.55	18.54
pression de compression	MPa	16.78	16.93	16.97	16.90	16.73	16.86
$\Delta P (P_{\max} - P_{\text{comp}})$	MPa	1.81	1.49	1.51	1.77	1.82	1.68
P_i	MPa	1.84	1.83	1.85	1.86	1.85	1.85
température des gaz d'échappement sortie cyl.	C°	405	410	430	420	410	415
Température de sortie du cylindre H/T	C°	84	85	85	85	85	84.8
Température de sortie du P.C.O.	C°	58	58	58	59	59	58.4

Tableau III. 8 : Donnée de performance d'une charge à 110% sur le moteur [14]

III.12.Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté le navire "TIN ZIREN", nous avons aussi cité les différentes caractéristiques moteur du navire à savoir les paramètres de compression et de pompage ainsi le concept.

On a aussi présenté un système de refroidissement pour l'eau de mer avec les moteurs en charges.

Chapitre IV

Maintenance des navires

IV.1. Introduction

Les moteurs à combustion sont des dispositifs compliqué qui sont constitué de nombreux composants, en récurrence plusieurs pièces en mouvement, ce qui rend l'usure, la fatigue, le vieillissement, la panne et les défaillances des termes souvent entendu et répéter, afin d'assurer la fiabilité et la disponibilité du dispositif, nous devons adopter une politique de maintenance et d'entretien adéquate

IV.2. Notion de sûreté de fonctionnement :

La sûreté de fonctionnement peut être définie par l'aptitude d'une entité à satisfaire une ou plusieurs fonctions requises dans des conditions données. Elle est scientifiquement caractérisable par l'étude statique et dynamique des systèmes du point de vue prévisionnel, opérationnel et expérimental, en tenant compte des aspects de probabilités et de conséquences liées aux défaillances [16].

IV.2.1. Maintenance, surveillance et diagnostic :

La notion de maintenance revêt une importance particulière dans le contexte de la sureté de disfonctionnement. Elle englobe en effet les concepts liés à la surveillance et au diagnostic [16].

IV.2.1.1. Maintenance

Selon L'AFNOR (norme 13306), la maintenance est l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise. Bien maintenir, c'est assurer l'ensemble de ses opérations au coût optimal [16].

IV.2.1.1.1. Maintenance préventive

D'après l'Afnor (NF X 60-010), c'est une maintenance effectuée dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu. C'est donc une intervention de maintenance prévue, préparée et programmée avant la date probable d'apparition d'une défaillance [16].

IV.2.1.1.2. Maintenance corrective

C'est une maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise, (Extrait norme NF EN 13306 X 60-319). Si un composant est jugé défaillant, sa réparation ou son remplacement est considéré comme de la maintenance corrective [16].

IV.2.1.2. Surveillance / détection de comportement

Ceux sont des actions réalisées manuellement ou automatiquement, destinées à observer l'état d'un bien ou d'un service et à détecter l'apparition d'une éventuelle défaillance.

Les informations nécessaires à ces actions peuvent provenir de grandeurs physiques directement prélevées sur le système ou reconstituées à partir de mesures indirectes [16].

IV.2.1.3. Diagnostic

C'est une action qui consiste à identifier les causes probables de la défaillance ou de l'évolution d'un ou de plusieurs paramètres significatifs de la dégradation à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur un ensemble d'informations. Le diagnostic permet de confirmer, de compléter ou de modifier les hypothèses faites sur l'origine et la cause des défaillances et de préciser les opérations de maintenance corrective nécessaires [16].

IV.2.2. Fiabilité, disponibilité et sécurité

La surveillance et le diagnostic constituent des leviers majeurs pour améliorer la fiabilité, la disponibilité et la sécurité d'une entité [16].

IV.2.2.1. Fiabilité

Aptitude d'une entité à accomplir les fonctions requises dans des conditions données pendant une durée donnée. Elle est caractérisée par la probabilité pour que l'entité accomplissant ces fonctions à l'instant 0 puisse les accomplir à l'instant t .

Elle se caractérise par sa courbe $R(t)$ appelée également « loi de survie » (R : reliability).

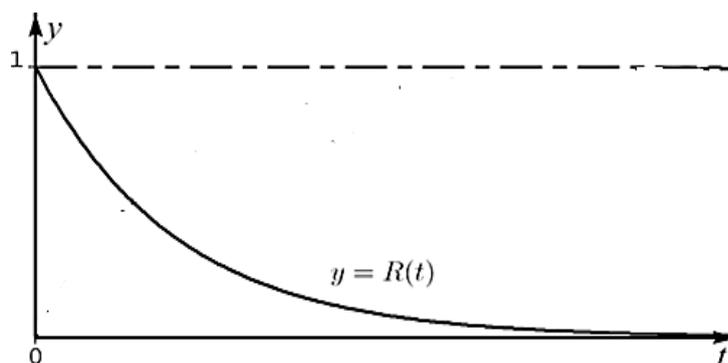


Figure IV. 1 : Fonction de fiabilité [16]

Le taux de défaillance λ est défini comme étant l'inverse de temps moyen de bon fonctionnement (MTBF) :

$$\lambda = \frac{1}{MTBF}$$

MTBF: (temps de bon fonctionnement) :

Est souvent traduit comme étant la moyenne des temps de bon fonctionnement mais représente la moyenne des temps entre deux défaillances.

Physiquement le MTBF peut être exprimé par le rapport des temps

$$\mathbf{MTBF} = \frac{\sum \text{Temps bon fonctionnement entre les (n)pannes}}{\text{nombre de pannes (n)}}$$

La durée de bon fonctionnement(TBF) = la durée totale en service - la durée des défaillances

MTTF (temps moyen de défaillance):

C'est le temps moyen de fonctionnement jusqu'à l'occurrence de la première défaillance :

$$\mathbf{MTTF} = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

MUT (temps moyen de fonctionnement) :

Il mesure la moyenne des temps de bon fonctionnement après réparation. Supposons que la réparation soit parfaite, telle que la condition du système après la réparation est la même que l'état initial ; nous avons alors : $\mathbf{MUT} \approx \mathbf{MTTF}$

MDT (Temps Moyen D'arrêt) **ou TMI** :

C'est le temps moyen d'indisponibilité. La durée d'indisponibilité est la somme des durées de réparation, de détection et de mise en service. Dans certains cas, le temps de détection et le temps de remise en service sont considérés comme négligeables, donc nous avons :

$$\mathbf{MDT} \approx \mathbf{MTTR}$$

On note que :

$$\mathbf{MTBF} = \mathbf{MDT} + \mathbf{MUT} \approx \mathbf{MTTR} + \mathbf{MTTF}$$

Remarque

- La MTTF est utilisée dans les systèmes non réparables. Dans ce cas : $\mathbf{MTTF} = \mathbf{MTBF}$
- Dans les systèmes réparables, MTTF est un indicateur de qualité.

Calculs de la fiabilité

$$\mathbf{R}(t) = \frac{\text{Nombre d'équipement encore en fonctionnement normal à l'instant } t}{\text{Nombre d'équipement mis en service}} = \frac{N(t)}{N(0)}$$

IV.2.2.2. Disponibilité

Aptitude d'une entité à être en état d'accomplir les fonctions requises dans des conditions données.

$$\mathbf{D}(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t}$$

La maintenabilité se caractérise par sa courbe $D(t)$. C'est une fonction asymptotique décroissante.

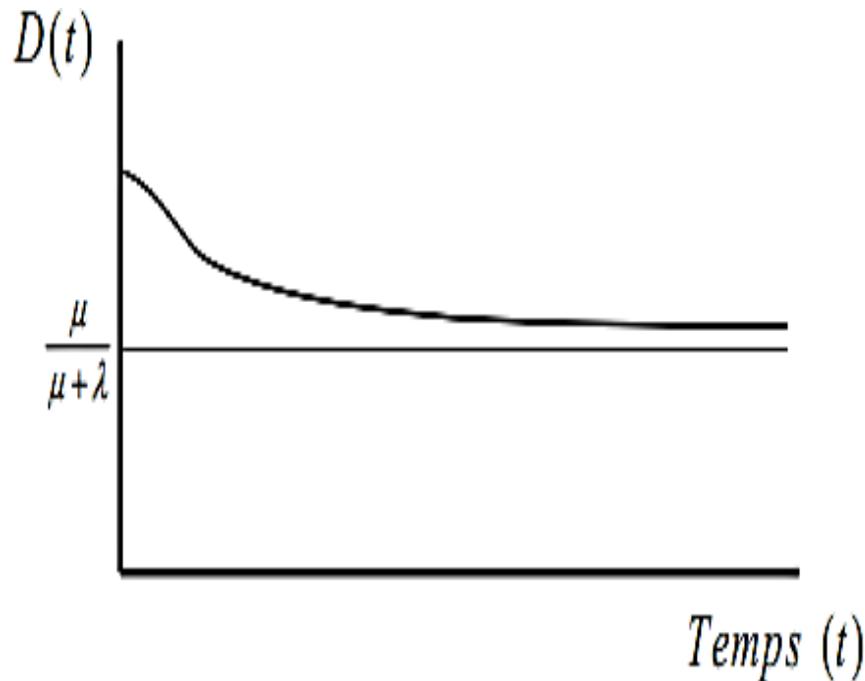


Figure IV. 2 : Fonction de disponibilité [14]

IV.2.2.3. Sécurité

Aptitude d'une entité à ne pas causer de dommages ou à ne pas faire apparaître, dans des conditions données, des événements critiques ou catastrophiques [16].

IV.2.3. Réparation ou dépannage

IV.2.3.1. Dépannage

Le dépannage est une action qui consiste à effectuer la remise en service d'un équipement défaillant, au moins provisoirement, par des moyens simples et rapides, ne nécessitant pas le remplacement de pièces détachées. Un dépannage peut s'accommoder de résultats provisoires et de conditions de réalisation 'hors norme' et dans ce cas sera suivi de réparation [16].

IV.2.3.2. Réparation

La réparation est une opération qui consiste en la remise en état, de façon durable d'un équipement défaillant ou d'une installation hors service avec des moyens humains et/ou

techniques adaptés. L'action de dépannage ou réparation comprend en partie sa défaillance et son diagnostic [16].

IV.2.3.3. Diagnostic

Le diagnostic est le raisonnement menant à l'identification de la cause (l'origine) d'une défaillance, à partir de symptômes relevés par des observations, des contrôles ou des tests. Il permet d'apprécier l'état d'usure d'un composant afin de déterminer les opérations de maintenance à exécuter ou la durée de vie restante [16].

IV.2.3.4. Durée de vie

La durée de vie d'un système est une mesure de la quantité de service rendu. Selon le système étudié, elle s'exprime en termes de temps, de kilomètres, d'heures de fonctionnement ou autre [16].

IV.2.4. Défaillance et panne

IV.2.4.1. Défaillance

C'est la cessation de l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise. Une défaillance est un passage d'un état à un autre par opposition à une panne [16].

IV.2.4.2. Panne

État d'une entité inapte à accomplir une fonction requise dans des conditions données d'utilisation est déclarée en panne. Par conséquent, une panne résulte toujours d'une défaillance [16].

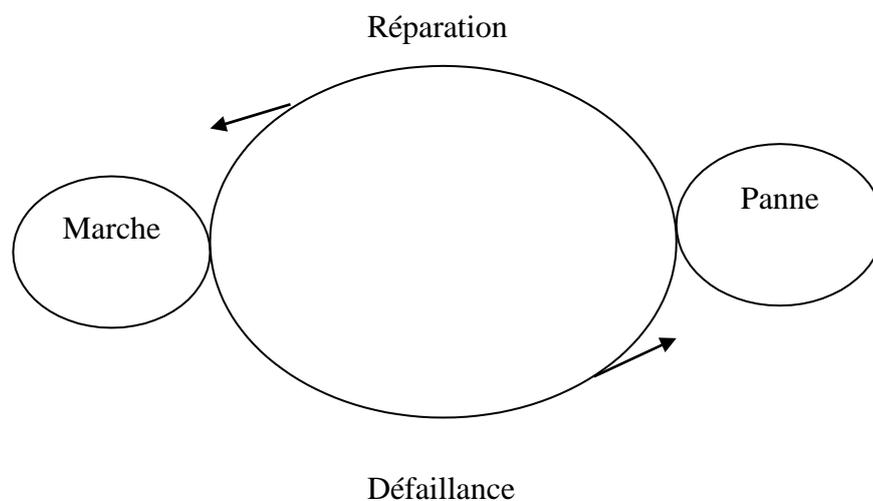


Figure IV. 3 Panne / Défaillance [16]

IV.3. Choix de méthode de maintenance

Le choix entre les méthodes de maintenance s'effectue dans le cadre de la politique de la maintenance et doit s'opérer en accord avec la direction de l'entreprise. Pour choisir, il faut donc être informé des objectifs de la direction, des directions politiques de maintenance, mais il faut connaître le fonctionnement et les caractéristiques des matériels, le comportement du matériel en exploitation, les conditions d'application de chaque méthode, les coûts de maintenance et les coûts de perte de production [17].

IV.4. Maintenance du moteur diesel d'un navire sans came

Le moteur Diesel est un système complexe composé de différents sous-systèmes. En effet, la complexité des moteurs diesel modernes contrôlés par l'électronique, avec un nombre croissant de capteurs et d'actionneurs, nécessite des systèmes de mesure et de diagnostic améliorés et automatisés, à bord des moyens de transport utilisant ces moteurs. La surveillance appropriée et la détection précoce des défauts nécessite de disposer de bons modèles de fonctionnement des composants, puisqu'il est impossible de prédire par une analyse simple l'effet d'un défaut sur les paramètres mesurés du moteur.

Les paramètres habituellement mesurés, sont les températures de gaz d'échappement et les diagrammes de pression du cylindre. Mais même avec ces mesures, il est extrêmement difficile dans de nombreux cas d'identifier l'origine des défauts car tous ces paramètres peuvent avoir un effet similaire. Dans ce cas la maintenance préventive est un choix très efficace pour éviter le maximum de ces pannes avant qu'elles se produisent [17].

IV.5. Symptômes et Maintenance

IV.5.1. Manque de puissance du moteur

Plusieurs causes peuvent être derrière le manque de puissance du moteur, y parmi, Circuit d'alimentation défectueux, Filtre à gasoil colmaté, Injecteurs défectueux, Calage de la pompe...etc. [18].

IV.5.2. Le moteur chauffe

Le système de refroidissement dissipe cette chaleur dans l'eau de mer. Si elle atteint l'ébullition du liquide de refroidissement, c'est la surchauffe [18].

IV.5.3. Le moteur ne crache pas d'eau par l'échappement humide

En cas de température élevée, il se peut que la pompe de refroidissement de l'eau de mer est désamorcée après remise à l'eau du bateau d'où la nécessité de vérifier la vanne de prise d'eau ou vérifier la pompe de refroidissement. Dans le cas de dégradation du système de refroidissement, il faut vérifier le filtre eau de mer s'il est sale d'où la nécessité de le nettoyer ou de le changer ou bien de vérifier si la turbine de la pompe à eau est abimée [18].

IV.5.4. Le moteur hoquette et cale

Parmi les causes les plus fréquentes de cet incident est la présence des composants étranges dans le gazole, pour cela il faut toujours s'assurer que le gasoil utilisé est complètement pure [18].

IV.5.5. Le moteur démarreur ne tourne pas

L'un des problèmes qu'on peut éviter tout simplement grâce à la maintenance préventive et la vérification du système de démarrage avant chaque navigation. Il faut vérifier l'alternateur et les batteries de démarrage [18].

IV.5.6. Le moteur ne démarre pas

Après l'arrêt du moteur, on peut se trouver dans une situation où le moteur ne démarre plus. Les causes probables de cet incident sont dues à la manette de commande, présence d'air, dans l'alimentation, présence d'eau ou d'impuretés dans le carburant. Pour y faire face, il faut purger au niveau du filtre à gasoil et au niveau de la pompe d'injection, si ça ne démarre toujours pas, il faut purger au niveau des injecteurs [18].

IV.5.7. Mauvaise combustion

Si la fumée dégagée vire vers le noir, donc c'est un signe d'une mauvaise combustion, il faut donc intervenir le plus rapidement possible. Dans le cas d'émission de fumée noir ou de perte de puissance du moteur, il faudrait vérifier le filtre à air et l'échappement, les injecteurs ou bien dans le pire des cas un mauvais calage de la pompe d'injection [18].

IV.5.8. Le moteur brule de l'huile

Un tel incident peut être le résultat d'un vrai défaut dans le moteur, et provoque lui-même d'autres problèmes à éviter. Dans ce cas la fumée dégagée vire vers une couleur grise ou bleue. Si la pompe d'injection et les injecteurs sont bien réglés, il faut vérifier le niveau de l'huile dans le carter avant de s'alarmer sur le sort des cylindres ou des segments [18].

IV.5.9. Vapeur d'eau

Si le moteur émet une fumée blanche, il faut vérifier au niveau de l'échangeur ou du coude d'échappement ou bien encore du joint de culasse [18].

IV.5.10. Vibrations et bruits divers

Les vibrations peuvent être un signe d'un vrai problème au moteur, grâce à l'analyse vibratoire on peut définir l'état de notre moteur en mesurant la vitesse de vibration et en calculant le niveau global des vibrations. Les causes peuvent être un mauvais état des roulements, un balourd dans le rotor, un frottement rotor contre stator ou bien encore un corps étranger dans l'entrefer [18].

IV.5.11. Echauffement des roulements

L'échauffement des roulements peut être détecté par la méthode de mesure par infrarouge. Cet incident est causé par un manque de graissage, un mauvais état des roulements ou un mauvais alignement de l'accouplement [19].

IV.5.12. Echauffement des coussinets

L'échauffement des coussinets peut être détecté par la méthode de mesure par infrarouge. Les raisons peuvent être un manque d'huile, un blocage de la bague de graissage ou un mauvais alignement de l'accouplement [19].

IV.6. Maintenance du système de refroidissement

Dans le cas d'un système de refroidissement défaillant, la première chose à faire est d'identifier précisément la panne. Pour cela il vaut mieux de faire un diagnostic automatique qui se fait à l'aide des différents capteurs présents dans le système moteur pour avoir un code défaut. Un circuit de refroidissement défectueux peut donc entraîner de graves problèmes de surchauffe, ce qui peut ensuite provoquer un dysfonctionnement de nombreuses pièces mécaniques et électriques... [20].

Causes probables	Remèdes
<ul style="list-style-type: none"> Absence d'eau douce dans le réservoir gravitationnel 	<ul style="list-style-type: none"> Vérifier et surveiller le niveau d'eau douce dans le réservoir
<ul style="list-style-type: none"> pompe à eau défectueuse 	<ul style="list-style-type: none"> Vérifier le circuit d'eau de mer.
<ul style="list-style-type: none"> fuite dans les tuyauteries d'eau 	<ul style="list-style-type: none"> Diagnostiquer la pompe à eau et la pompe à l'huile.
<ul style="list-style-type: none"> Blocage du circuit d'eau de mer 	<ul style="list-style-type: none"> vérifier et surveiller le niveau d'huile de lubrification qui participe également à la réfrigération
<ul style="list-style-type: none"> Huile insuffisant dans le circuit d'huile 	<ul style="list-style-type: none"> Vérifier les tuyauteries d'eau
<ul style="list-style-type: none"> Pompe à huile défectueuse 	Vérifier les filtres (d'eau, d'huile)
<ul style="list-style-type: none"> Sonde de température défectueuse 	<ul style="list-style-type: none"> Diagnostiquer la sonde de température

Tableau IV. 1 : Cause de surchauffe [20]

IV.7. Cas Réel, Rapport D'avarie Majeure

Avarie : Moteur principal ne veut pas se lancer

Indice :

- affichage « avarie système hydraulique ».
- sécurité shut-down activée.
- au lancement la pression de consigne 240 bar descend à 199 bar (pour éviter de lancer le moteur)

Remède : Suivant la consigne du constructeur

- vérifier le HPS « *Hydraulic Power Supply* » en faisant un check aux pompes électriques
- visite oculaire si y a pas de fuites

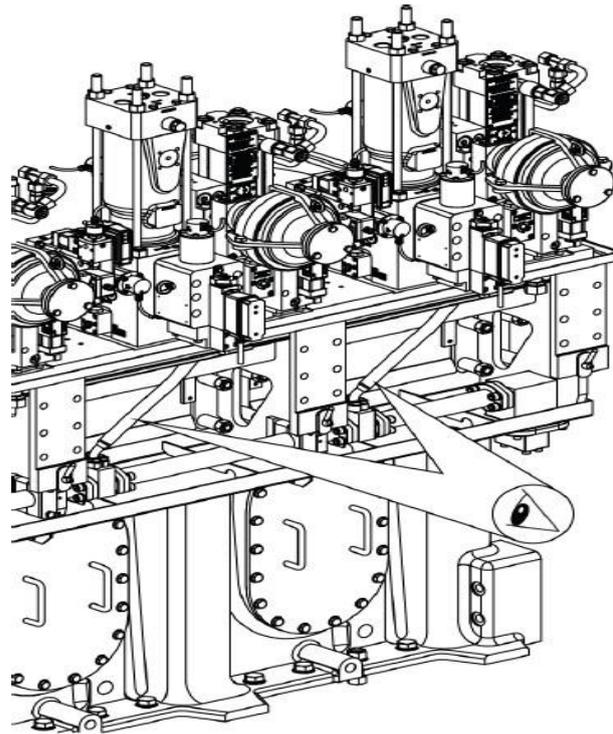


Figure IV. 4 : Une vue réel sur les vannes de sécurité [14]

- vérifier les vannes de sécurité 310, 311, 312

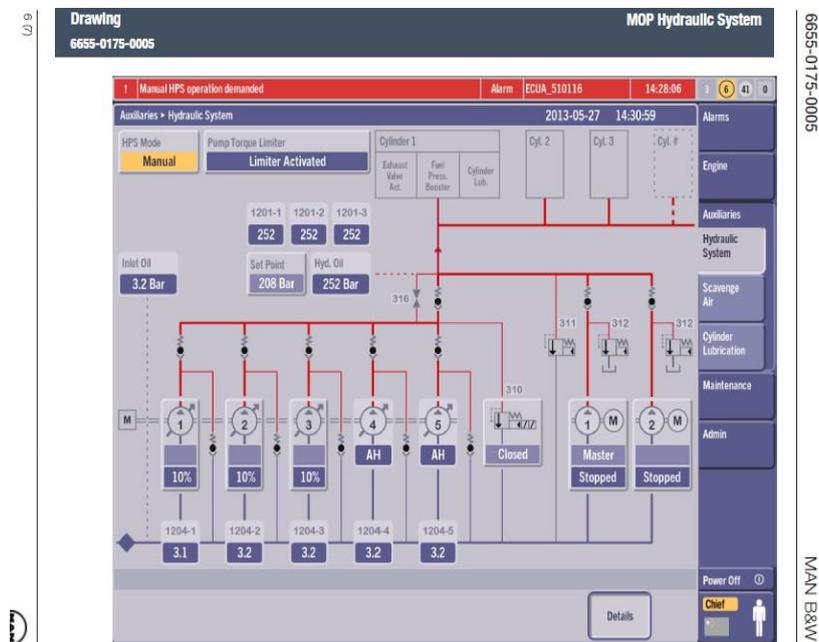


Figure IV. 5 : l'afficheur des vannes [14]

- faire des essais test d'injection

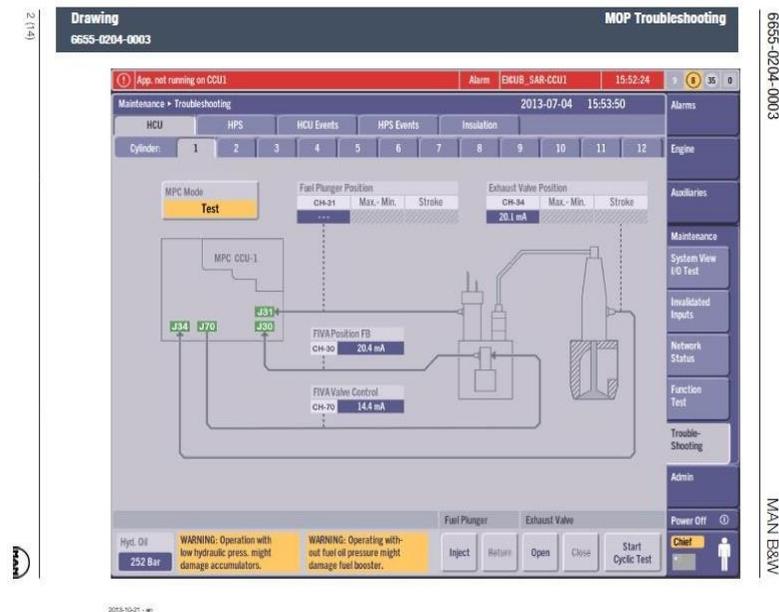


Figure IV. 6 : l'afficheur des vannes [14]

- vérifier les valeurs

Après inspection général et test, on a procédé par élimination de cylindre, on a trouvé que l'alarme shut-down nous venait du cylindre 2.

On a donc, enlevé le bloc hydraulique et nettoyer, et inter changer la vanne pilote « *ELFI control valve* » avec le cylindre 1, le problème a basculé vers le cylindre 1, on a donc réalisé que le problème était l'électrovanne du cylindre numéro 2.

Après avoir changé l'électrovanne défailante, l'alarme shut-down a disparu et le moteur s'est lancé.

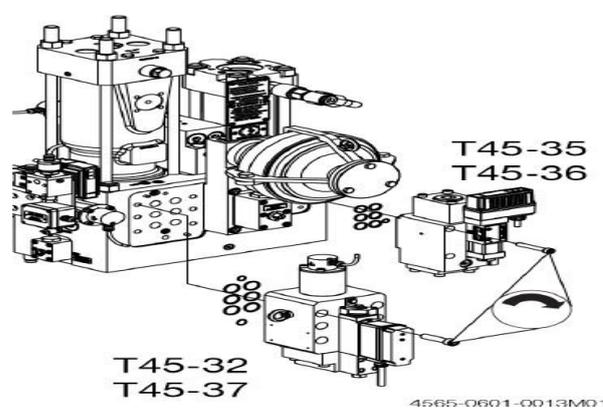


Figure IV. 7 : ELFI control valve T45-32 [14]

IV.7. Conclusion

Le domaine de la maintenance des navires est beaucoup plus vastes et plus que compliquer que ce qu'on a cité précédemment dans ce chapitre, ce qui nécessite des études plus repoussé dans l'avenir afin d'assurer une navigation plus sûr.

Dans ce chapitre nous avons évoqué quelques notion de sureté de fonctionnement et les défauts les plus fréquent dans le domaine des moteurs à combustion interne ainsi que leurs solution recommander afin d'effectuer des interventions efficaces et sûrs, avant de passer on a l'étude d'un cas réel d'avarie moteur rencontrer en plein mer par l'ensemble de mécanicien du navire.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

Au fil de ce travail, nous avons pu exposer le moteur à combustion interne sans arbre à came et nous avons pu toucher les ponts essentiels de la technologie Camless, par ailleurs, une étude de cas menée sur la maintenance du moteur sans arbre à came d'un navire a pu être mise en œuvre.

Un gain en consommation de carburant diminue l'impact écologique sur lequel les organisations mondiales ont été strictes ces derniers temps, ainsi un gain en puissance nous donne une performance meilleure.

La suppression de l'arbre et de la chaîne de distribution permet la diminution du nombre de pièces en mouvement, ce qui nous donne une fiabilité meilleure, un taux de défaillance minimal et une maintenance plus simple que celle des moteurs à combustion interne conventionnels.

D'après ce que nous avons vu dans notre étude, la technologie Camless restera le meilleur choix d'avenir pour les constructeurs automobiles et les armateurs, et cela en vue de la possibilité qu'elle leur offre afin d'être au niveau des normes imposées avec une performance qui défie les moteurs à combustion interne conventionnels, sans oublier les avantages déjà cités précédemment tels que l'augmentation de la durabilité et la longévité du moteur et la réduction de 50 % de la taille et de 30 % du poids, ce qui nous donne une rentabilité meilleure avec un coût d'investissement raisonnable du moteur.

L'évolution et le développement des systèmes d'actionnement des soupapes ont été sans doute le pas qui a permis la naissance de la technologie Camless et qui lui a permis d'atteindre les performances avancées qu'elle a pu atteindre à nos jours, sa réputation à l'échelle économique et écologique fait d'elle le meilleur choix que les constructeurs ont pu avoir un jour, cela en attendant le développement des biocarburants et leur exploitation afin d'avoir une énergie pure et propre.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] : B.Kerboua, Modélisation des caractéristiques mécaniques du moteur thermiques alternatif en régimes instationnaire, Mémoires de Magister ; université de Tlemcen ; 2000.
- [2] : [ZELLA GUI Redouane , SAMSAN Mehdi. 2007. « étude et conception d'un moteur à quatre cylindres sans vilebrequin avec une application d'un champ magnétique, pour mouvoir les tiges poussoir » (Université du Mentouri Constantine).dirigé par Harket Ammar.].
- [3] : R.Brun, science et technique du moteur diesel industriel et de transport , tom 1, édition 1981.
- [4] : [PAN Sovanna. 10/2004. / ITC/GIM- « Moteur thermique/chapitre 1 et 2 et 3 ».].
- [5] : Moteurs thermiques, Edition castilla-Paris Tom 1 et Tom 2, Année 1992.
- [6] : G. Maillard, Technologie de l'automobile, juin 1986.
- [7] : M LEMAIRE < Moteurs à Combustion Interne >, Polycopié du cours des moteurs thermiques , Ecole Centrale de Nantes, Nantes 2003.
- [8] : Valeo signs up 'several global automakers' for camless engine". Archived from the original on 2012-03-18. Retrieved 2020-07-12.
- [9] : EJERS, European Journal of Engineering Research and Science Vol. 4, No. 9, September 2019.
- [10] : <https://www.brighthubengineering.com/consumer-appliances-electronics/91320-camless-diesel-engine/#perennial-problems-in-electronic-and-electrical-devices>.
- [11] : Pradeep Kumar Gillella, «*Design and Control of Fully Flexible Valve Actuation Systems for Camless Engines*», These de doctorat, THE UNIVERSITY OF MINNESOTA.
- [12] : J.B. Heywood : internal combustion engine fundamentals, McGraw-Hill, Singapore,1988.
- [13] : In partial FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF Doctor of Philosophy Prof Zongxuan Sun, Advisor December, 2012.
- [14] : Deghboudj Samir, « maintenance des moteur diesel », mémoire de Magister, Université de Tébessa, **Mai 2006**

Bibliographie

[15] : Hassan Moussa Nahim « Contribution à la modélisation et à la prédiction de défaillances sur les moteurs Diesel marins Spécialité Automatique », Aix-Marseille Université, **2016**.

[16] : Y. Khelil, « Analyse des données en vue du diagnostic des moteurs Diesel de grande puissance » thèse de doctorat, Aix-Marseille Université, **2013**.

[17] : Fi de carrera_Andreu Gelabert Galmés, projet sur « les moteurs générateurs ».

[18] : www.imo.org.

[19] : Documentation inter du navire TIN ZIREN

Annexe

Annexe 1 (L'annexe VI de MARPOL)

Adoptée en 1997, l'Annexe VI de MARPOL introduit des limites d'émission pour les Principaux polluants atmosphériques provenant des gaz d'échappement des navires, y compris Les oxydes de soufre (SO_x) et les oxydes d'azote (NO_x), et interdit toute émission délibérée de substances qui appauvrissent la couche d'ozone. Elle régit de plus l'incinération à bord et les émissions de composés organiques volatils (COV) imputables aux navires citernes.

Lorsque l'Annexe VI entrera en vigueur les armateurs devront s'assurer que tous les navires de 400 GT et plus, que toutes les plates-formes et plates-formes de forage se dirigeant vers des ports ou des eaux où s'applique la convention MARPOL, auront un Certificat International de Prévention de la Pollution de l'Air (IAPPC International Air Pollution Prévention Certificat) confirmant le respect des exigences de l'Annexe VI que ce soit pour le matériel ou les procédures opérationnelles. Le certificat est issu par l'État du Pavillon. Tout comme pour les autres certificats MARPOL, les États délégueront, dans la plupart des cas, la certification aux Sociétés de classification. Un délai est accordé aux navires en service pour obtenir le certificat nécessaire; dans ce cas la visite initiale IAPPC devra avoir lieu, au plus tard, lors du premier passage en cale sèche programmé, et dans tous les cas avant trois ans après son entrée en vigueur.

Les règles liées à la pollution atmosphérique

Règle 12 : « Interdit l'utilisation ou le rejet de substance néfaste pour la couche d'ozone (CFCs). Les nouvelles installations utilisant des substances nocives pour la couche d'ozone sont interdites sur tous les navires; cependant les installations existantes contenant des hydrochlorofluorocarbones (HCHCs) sont autorisées jusqu'au 1er Janvier 2020. »

Règle 13 : « Diminue les émissions de NO_x à partir des moteurs diesel selon un code technique approprié et s'applique aux moteurs dont la puissance délivrée est de plus de 130 kW, installés ou devant subir une "conversion majeure" après le 1er Janvier 2000 (à l'exception des générateurs de secours). Les émissions de NO_x à partir d'un moteur sont étroitement liées à sa conception. Les sociétés de classification en ont tenu compte depuis quelques années déjà. La qualité du combustible lui-même a un impact sur le niveau des émissions de Nox et est concerné par la règle 18. »

Règle 14 : « Réduit les émissions de SO_x par les navires en introduisant une teneur en soufre maximale dans les combustibles marins de 4,5 %. En outre, l'Annexe VI de MARPOL, définit des zones de contrôle des émissions de SO_x (SECA Sulphur Emission Control Areas).

Annexe

Dans ces zones la teneur maximale en soufre des combustibles marins utilisés est de 1,5 %.

La Mer Baltique est la seule zone définie comme SECA dans l'Annexe VI. Cependant la Mer du Nord a réussi à réunir les critères pour être déclarée SECA après l'entrée en vigueur de l'Annexe.

En outre, il pourrait y avoir d'autres zones, telles que des zones dans l'Ouest des

Iles Britanniques, l'Ouest du Continent Européen, les eaux côtières US, la Méditerranée en totalité ou en partie qui pourraient être proposées comme SECAs dans un avenir proche. Il résulte de tout cela que les navires pourraient être amenés à transporter plusieurs qualités de combustible et ainsi être en mesure de faire face aux problèmes pratiques potentiels en résultant»

Règle 15 : « Précise que dans les ports où l'on doit contrôler les émissions de VOCs (composés organiques volatiles), le port doit s'assurer que les moyens de récupération sont disponibles. »

Règle 16 : « Interdit l'incinération de certaines substances, dont : les PCBs, les débris contenant des traces de métaux lourds, des produits raffinés contenant des composés halogènes et des résidus de MARPOL Annexe I, II et III cargaisons. »

Règle 18 : « Contient les normes concernant les documents requis sur la qualité du fuel oil. Le fuel oil doit être exempt d'huile inorganique, ne doit pas contenir d'additifs ni de résidus chimiques et ne doit pas dépasser les limites de 4,5 ou 1,5 % de soufre. Pour être en conformité avec la réglementation un bordereau de livraison de soutes doit être remis et conservé et spécifier, entre autres, le nom du produit pétrolier, sa densité à 15°C et la teneur en soufre. »

Résumé

De nos jours le moteur à combustion interne est utilisé sur une vaste gamme soit dans l'attraction terrestre ou la propulsion navale et même dans la production de l'énergie électrique, cette composante et depuis son apparition et jusqu'à présent a connue de divers innovation et développement en vue d'améliorer ses performances, ce qui a fait naissance d'une nouvelle technologie de moteur à combustion interne connue sous le nom moteur sans arbre à came ou bien la technologie Camless

Cette dernière fera l'objectif d'étude pour notre présent travail, où nous essayerons de présenter et de définir cette technologie, ainsi relever ses atouts qui font d'elle une technologie meilleure que les autres technologies conventionnelle avec arbre à came.

Abstract

Nowadays, the internal combustion engine is used in a wide range of applications such as terrestrial attraction, naval propulsion and even in the production of electrical energy. Since its appearance, this component has undergone various innovations and developments in order to improve its performance, which has given rise to a new technology of internal combustion engine known as camless engine or Camless technology.

This last one will be the objective of study for our present work, where we will try to present and define this technology, as well as to point out its assets that make it a better technology than the other conventional technologies with camshaft.