

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou



Faculté de Génie de la Construction
Département d'électromécanique



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme académique Master

Filière : Electromécanique

Option : Maintenance industrielle

THEME :

**Application des outils de Méthodes de maintenance
sur le moteur Caterpillar 3512**

Encadré par :

Mr. BELAID Kamel

Présenté par :

BEN CHABANE Raouia

AGGAR Naima

2022/2023

DÉDICACE

A la mémoire de mon défunt père Hadj Amar qui nous a quitté très tôt je dédie ce travail à son âme soit heureux papa j'ai réalisé ton rêve et pour toi aussi chère tante Ouardia que dieu vous l'accueille dans son propre paradis.

Je dédie ce modeste travail à toi ma mère Hakima merci pour ton amour inconditionnel, tes sacrifices, ton encouragement, ton soutien.

Aucune dédicace ne serait exprimée le respect que j'ai pour toi.
Puisse dieu prolonger ta vie dans le bonheur.

À mon grand frère Yacine et sa femme Djedjiga et mon frère Mokhtar.

À vous mes sœur Akila, Fadhila et leur marie Farid, Saïd.

À mes nièces Alicia, kamelia, Tiziri, Leticia, Sidra, Lina.

À ma grande famille Aggar et ma famille maternelle Chegrani et Hadjou.

Mes amis Soraya, kamelia, Kenza, Sandra, Melissa, Warda, Nadjet, Sarah, Siphax, Asma, Leticia et à toute la promo d'électromécanique sans exception.

Sans oublier la meilleure, ma chère binôme Raouia et à sa famille.

A tous ceux qui ont contribué à la réussite de ce travail de près ou de loin.

N. AGGAR

DÉDICACE

Je dédie ce modeste travail

À ma mère Ferroudja, à mon père Chabane, qui ne m'ont jamais laisser tomber, vous étiez toujours à mes coté pour me soutenir pour que je puisse atteindre mes objectifs, merci pour votre amour sans limite, vos sacrifices et vos encouragements, que dieu vous garde et vous procure santé et bonheur.

À mes frères, Anis et Islam, que dieu les protège et leurs offre la chance et le bonheur.

À mon fiancé Djaffer, qui était toujours là pour moi, qui m'a aidé dans les moments difficiles, et à toute sa famille aussi.

À ma famille, cousins, cousines et mes amis, Fifa, Djoni, Tamazight, Mouma, Karima, Loubna, Samia, Sonia, Souad et toute la promo électromécanique.

Sans oublier la meilleure, ma chère binôme Naima et toute sa famille.

À tous ceux qui ont contribué à la réussite de ce travail de près ou de loin.

R. BEN CHABANE

REMERCIEMENT

En premier lieu, nous tenons à remercier dieu, notre créateur pour nous avoir donné la force pour accomplir ce travail. Nous tenons à remercier notre encadreur Mr BLAID Kamel pour son aide, pour son grand soutien et ses conseils considérables.

Nous remercions nos enseignants pour avoir travaillé nettement avec nous et les membres du jury qui ont accepté d'évaluer ce travail.

Nos remerciements s'adressent aussi à tout le personnel de l'entreprise nationale ENAFOR HASSI MESAOUUD pour leur prise en charge, bienveillance, leurs orientations et leurs encouragements qui nous ont aidé à réaliser notre travail sur le terrain durant notre stage pratique.

On veut également exprimer notre reconnaissance à nos familles, nos camarades, ainsi que tous nos amis pour leur soutien moral.

Résumé

Le moteur Caterpillar 3512 est un moteur diesel Il est considéré comme le cœur de la source de l'énergie électrique Il entraîne un alternateur pour produire de l'énergie électrique afin d'alimenter les équipements de forage. Sa conception robuste, sa puissance élevée et sa capacité à fonctionner dans des conditions difficiles en font un choix populaire dans l'industrie.

Nous avons cité certaines pannes du moteur afin d'appliquer les nouvelles méthodes de maintenance comme la méthode AMDEC ou on trouve les modes de défaillance et comment les répare, et la méthode d'ISHIKAWA qui aide à savoir toutes les causes possibles d'une panne et nous avons dessiné la courbe ABC pour identifier les pannes critiques nécessitant plus de temps pour être corrigées.

Les mots clé : le moteur Caterpillar 3512, appareil forage, la maintenance, AMDEC, ISHIKAWA, ABC.

Abstract

The Caterpillar 3512 engine is a diesel engine It is considered as the heart of the electric power source It drives an alternator to generate electric power to power the drilling equipment. Its rugged design, high power and ability to operate in harsh conditions make it a popular choice in industry.

We have also cited certain engine failures in order to apply new maintenance methods such as the AMDEC method where failure modes are found and how to repair them, and the ISHIKAWA method which helps to know all the possible causes of a failure and we drew the ABC curve to identify critical failures that need more time to fix.

Keywords: Caterpillar 3512 engine, drilling rig, maintenance, AMDEC, ISHIKAWA, ABC.

ملخص

محرك كاتربيلر 3512 هو محرك ديزل، يعتبر قلب مصدر الطاقة الكهربائية، فهو يقود مولد التيار المتردد لتوليد الطاقة الكهربائية لتشغيل معدات الحفر. إن تصميمها القوي وقوتها العالية وقدرتها على العمل في ظروف قاسية تجعلها خيارًا شائعًا في الصناعة.

لقد ذكرنا أيضًا بعض أعطال المحرك من أجل تطبيق طرق صيانة جديدة مثل طريقة AMDEC حيث توجد أوضاع الفشل وكيفية إصلاحها، وطريقة ISHIKAWA التي تساعد على معرفة جميع الأسباب المحتملة للفشل وقمنا برسم ABC منحني لتحديد حالات الفشل الحرجة التي تحتاج إلى مزيد من الوقت لإصلاحها.

الكلمات المفتاحية: محرك كاتربيلر 3512، جهاز حفر، صيانة AMDEC، ISHIKAWA، ABC.

Sommaire

Remerciement

Introduction générale	1
-----------------------------	---

Chapitre I

I.1 Introduction	3
I.2 Présentation de l'entreprise nationale de forage ENAFOR	3
I.2.1 Définition de l'ENAFOR	3
I.2.2 Historique :.....	4
I.2.3 Répartition de l'ENAFOR	5
I.2.3.1 La base d'entreprise :.....	5
I.2.3.2 La sonde école :.....	6
I.2.3.3 Le chantier :.....	6
I.2.4 Mission de l'entreprise	7
I.2.5 Les activités de l'entreprise	7
I.2.5.1 Transport :.....	7
I.2.5.2 Hôtellerie et catering :.....	8
I.2.5.3 Maintenance :	8
I.2.5.4 Forage :.....	8
I.3 Description de l'appareil de forage	8
I.3.1 Fonctionnement de l'appareil de forage	8
I.3.2 Classification des appareils de forage	9
I.3.3 Répartition des équipements de forage	9
I.3.3.1 Matériel de fond :	9
I.3.3.2 Matériel de surface :.....	10
I.4 Conclusion	17

Chapitre II

II.1	Introduction	19
II.2	Généralités sur les moteurs à combustion interne	19
II.2.1	Définition	19
II.2.2	Historique	19
II.2.3	Les types des moteurs à combustion interne	20
II.2.3.1	Les moteurs à réaction :	20
II.2.3.2	Les moteurs qui fournissent un couple sur un arbre :	21
II.2.4	Description des organes du moteur	25
II.2.4.1	Organes fixe :	25
II.2.4.2	Organes mobiles :	27
II.2.5	Les avantages et inconvénients de chaque type de moteur	30
II.2.5.1	Moteur à réaction :	30
II.2.5.2	Moteur essence :	31
II.2.5.3	Moteur diesel :	31
II.3	Conclusion	32

Chapitre III

III.1	Introduction	34
III.2	Définition de la maintenance	34
III.3	Objectifs et importance de la maintenance	34
III.4	Les types de maintenance	35
III.4.1	La maintenance préventive	35
III.4.1.1	La maintenance préventive systématique :	36
III.4.1.2	La maintenance préventive conditionnelle :	36
III.4.2	La maintenance corrective	37
III.4.2.1	La maintenance curative :	37
III.4.2.2	La maintenance palliative :	37

III.5	Les différents niveaux de maintenance	38
III.6	Les concepts de la maintenance	39
III.6.1	Maintenance et Entretien	39
III.6.2	Fiabilité	39
III.6.3	Maintenabilité	40
III.6.4	Disponibilité	40
III.6.5	Panne et Défaillance	40
III.6.6	Réparation et Dépannage	40
III.6.7	Diagnostic	41
III.6.8	GMAO (Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur)	41
III.7	Les méthodes de maintenance	41
III.7.1	La méthode AMDEC	42
III.7.1.1	Définition de la méthode AMDEC :	42
III.7.1.2	But AMDEC :	42
III.7.1.3	Mise au point de la fiche d'analyse :	42
III.7.2	La méthode des 5M	46
III.7.2.1	Définition :	46
III.7.2.2	La règle des 5 M étudiée :	46
III.7.2.3	Comment faire le schéma avec les 5 M ?	47
III.7.3	La méthode ABC Pareto	48
III.7.3.1	Définition :	48
III.7.3.2	l'objectif de Pareto :	48
III.7.3.3	comment applique la méthode ABC :	49
III.8	Conclusion	49

Chapitre IV

IV.1	Introduction	51
IV.2	descriptions de moteur diesel CATERPILLAR 3512	51

IV.2.1	Définition	51
IV.2.2	Caractéristique du moteur Caterpillar 3512	52
IV.2.3	Principe de fonctionnement du moteur Caterpillar 3512	52
IV.2.4	Le cycle thermodynamique de ce moteur	53
IV.3.5	Etude des systèmes et leurs circuits	56
IV.3.5.1	Système de distribution :	56
IV.3.5.2	Système de refroidissement :	57
IV.3.5.3	Système de graissage :	58
IV.3.5.4	Système de carburant :	59
IV.3.5.5	Système d'air d'admission et échappement :	60
IV.3.5.6	Système de démarrage :	61
IV.3.6	Les capteurs utilisés dans le moteur Caterpillar	62
IV.3	La maintenance du moteur Caterpillar 3512	65
IV.3.1	Programme de la maintenance préventive :	66
IV.3.2	Programme de la maintenance curative :	67
IV.3.2.1	Les réparations sur chantier :	67
IV.3.2.2	Les réparations sur atelier :	69
IV.3.3	Organigramme des étapes de réparation du moteur :	71
IV.4	Conclusion	72

Chapitre V

V.1	Introduction	74
V.2	Application méthode AMDEC sur moteur Caterpillar 3512	74
V.2.1	Estimation de temps d'intervention par rapport au pannes précédentes	81
V.2.1	Explication de la fiche AMDEC	82
V.2.1.1	Les organes mobiles et fixes :	82
V.2.1.2	Les circuits de refroidissement et d'air :	87
V.2.1.3	Les circuits d'huile et du gasoil :	89

V.3	Application de la méthode des 5M	91
V.3.1	Les causes de problème de démarrage	92
V.3.2	Les causes d'une surchauffe moteur	92
V.3.3	Les causes des bruits anormaux	93
V.3.4	Les cause de baisse de performance	93
V.3.5	Les causes de fumées	94
V.4	La méthode ABC de Pareto	94
V.4.1	Historique de panne	94
V.4.2	Méthodes d'analyse ABC de Pareto	95
V.5	Conclusion	96
	Conclusion générale	97
	Références bibliographiques	98

Liste des figures :

Figure I.1	: a. Logo de l'entreprise b. L'entrée de l'ENAFOR	3
Figure I.2	: Organigramme de la base d'entreprise	5
Figure I.3	: Le chantier de l'ENAFOR	7
Figure I.4	: Les tiges de forage.	10
Figure I.5	: L'outil de forage	10
Figure I.6	: Les équipements de levage	11
Figure I.7	: Top drive	12
Figure I.8	: Bac à boue.	12
Figure I.9	: La pompe à boue.	13
Figure I.10	: Le BOP.	13
Figure I.11	: Le dégazeur.	14
Figure I.12	: Groupe électrogène	15
Figure I.13	: Aternateur	15
Figure I.14	: Stator	16
Figure I.15	: Rotor à pole saillant	16
Figure I.16	: A pole lisse	17

Figure II.1 : Moteur à réaction.....	21
Figure II.2 : Le cycle quatre temps d'un moteur essence.....	22
Figure II.3 : Moteur essence	23
Figure II.4 : Le cycle quatre temps d'un moteur diesel.....	24
Figure II.5 : Moteur diesel	24
Figure II.6 : Les organes du moteur	25
Figure II.7 : Bloc moteur	25
Figure II.8 : Cylindre	26
Figure II.9 : Le carter.....	26
Figure II.10 : La culasse	27
Figure II.11 : Vilebrequin.....	27
Figure II.12 : La bielle	28
Figure II.13 : Le piston	28
Figure II.14 : Les soupapes.....	29
Figure II.15 : Culbuteur	29
Figure II.16 : Arbre à cames	30
Figure III.1 : Les types de maintenance	35
Figure III.2 : Diagramme de poisson.....	46
Figure III.3 : Forme générale de 5M	47
Figure IV.1 : Moteur diesel Caterpillar 3512.	51
Figure IV.2 : Principe de fonction du moteur cattpillar3512	53
Figure IV.3 : Le cycle thermodynamique.....	53
Figure IV.4 : L'admission.....	54
Figure IV.5 : La compression.....	54
Figure IV.6 : Explosion	55
Figure IV.7 : Augmentation de volume des gaz	55
Figure IV.8 : L'échappement.....	56
Figure IV.9 : Système distribution	56
Figure IV.10 : Système de refroidissement	58
Figure IV.11 : Système de graissage	59
Figure IV.12 : Système de carburant	60
Figure IV.13 : Système d'air d'admission et d'échappement.....	61
Figure IV.14 : Capteur de pression d'admission.....	62
Figure IV.15 : Capteur de température d'air d'admission.....	62

Figure IV.16 : Capteur de pression d'huile	63
Figure IV.17 : Capteur de pression de gasoil	63
Figure IV.18 : Capteur de liquide de refroidissement	63
Figure IV.19 : Capteur PMH	64
Figure IV.20 : Capteur d'arbre à cames	64
Figure IV.21 : Capteur RPM	65
Figure IV.22 : Programme de maintenance préventive à faire chaque jour	66
Figure IV.23 : Organigramme des étapes de réparation du moteur	71
Figure V.1 : Réglage culbuteur	82
Figure V.2 : Réglage de jeu et les cales	83
Figure V.3 : Coussinet usé	83
Figure V.4 : Mesure le jeu de palier	84
Figure V.5 : Bielle défailante	84
Figure V.6 : Piston avec segments défectueux	85
Figure V.7 : Joint de culasse défectueux	85
Figure V.8 : Réglage d'arbre à came	86
Figure V.9 : Courroie usée	86
Figure V.10 : Thermostat coincé en position ouverte	87
Figure V.11 : Changement des filtres à air	89
Figure V.12 : Changement des filtres à huile	89
Figure V.13 : Pompe d'amorçage	90
Figure V.14 : Dévissage la vis de purge d'air	90
Figure V.15 : Filtre à gasoil et son remplacement	91
Figure V.16 : Diagramme des 5M problème de démarrage.	92
Figure V.17 : Diagramme de 5M surchauffe moteur.	92
Figure V.18 : Diagramme des 5M bruits anormaux.	93
Figure V.19 : Diagramme des 5M baisse de performance	93
Figure V.20 : Diagramme des 5M fumées	94
Figure V.21 : la courbe ABC.	95

Liste des tableaux :

Tableau III.1 : Exemple de feuille d'AMDEC.	42
Tableau III.2 : Liste des modes de défaillance.	43
Tableau III.3 : Niveau de gravité.	44
Tableau III.4 : Fréquence d'apparition de la cause du mode de défaillance.	45
Tableau III.5 : Niveau de détectabilité.	45
Tableau III.6 : Niveau de criticité.	45
Tableau IV.1 : Caractéristique du moteur Caterpillar 3512	52
Tableau IV.2 : Tableau d'affichage	65
Tableau IV.3 : Les pannes à réparer sur le chantier.	67
Tableau V.1 : Application de la méthode AMDEC sur les organes mobiles et fixes.	77
Tableau V.2 : Application de la méthode AMDEC sur le circuit de refroidissement et d'air.	79
Tableau V.3 : Application de la méthode AMDEC sur le circuit d'huile et gasoil.	80
Tableau V.4 : Le temps d'intervention pour chaque élément.	81
Tableau V.5 : Historique de panne.	94
Tableau V.6 : L'analyse ABC.	95

Introduction générale

L'industrie est un secteur très vaste dont celui concernant le domaine pétrolier. Le forage est un secteur très important pour l'extraction de gaz et de pétrole. L'entreprise nationale de forage ENAFOR est la première à l'échelle nationale qui est chargée de réaliser des puits pour SONATRACH.

La technologie de forage des puits de pétrole et de gaz demande de l'énergie pour assurer le fonctionnement des équipements et les appareils utilisés. Les équipements de puissance jouent un rôle très important puisqu'ils assurent l'énergie nécessaire pour le forage des puits. Parmi les équipements utilisés on trouve le moteur diesel CATERPILLAR 3512 qui est la partie thermique d'un groupe électrogène qui entraîne un alternateur pour produire de l'énergie électrique afin d'alimenter les équipements de forage.

Comme tout secteur industrielle, le domaine de maintenance est indispensable pour le bon fonctionnement des équipements.

L'objectif de notre travail est d'appliquer les méthodes de maintenance moderne afin de minimiser les coûts de maintenance, les temps d'arrêt et assurer toujours le bon fonctionnement du moteur diesel CATERPILLAR 3512. Pour cela, nous allons utiliser la méthode AMDEC, la méthode 5M et la méthode de PARETO.

Notre travail est divisé sur 5 chapitres :

Dans le premier chapitre, nous allons présenter l'entreprise nationale de forage ENAFOR où nous avons fait un stage pratique d'un mois, nous présentons aussi les équipements de l'appareil de forage.

Dans le deuxième chapitre, nous donnons des généralités sur les moteurs à combustion interne. Nous citons les types de moteurs, leurs principes de fonctionnement et les avantages et inconvénients de chaque type.

Le troisième chapitre est réservé aux généralités sur la maintenance industrielle, en donnant ses objectifs, ses types, ses niveaux et ses différentes méthodes.

Dans le chapitre quatre, nous présentons le moteur diesel CATERPILLAR 3512 objet d'étude, ses caractéristiques, son principe de fonctionnement, ses systèmes et leurs circuits, les capteurs utilisés et la maintenance faite dans le chantier.

Le chapitre cinq est consacré au travail pratique dont lequel nous appliquons les trois méthodes de maintenance au moteur diesel CATERPILLAR 3512.

**Chapitre I : Présentation de
l'entreprise et l'appareil de forage**

I.1 Introduction

L'exploration pétrolière ou gazière, nécessite un processus de forage pour extraire la matière et parvenir aux réservoirs d'hydrocarbures. L'entreprise nationale de forage ENAFOR est la première à l'échelle nationale qui est chargée de réaliser des puits pour SONATRASH.

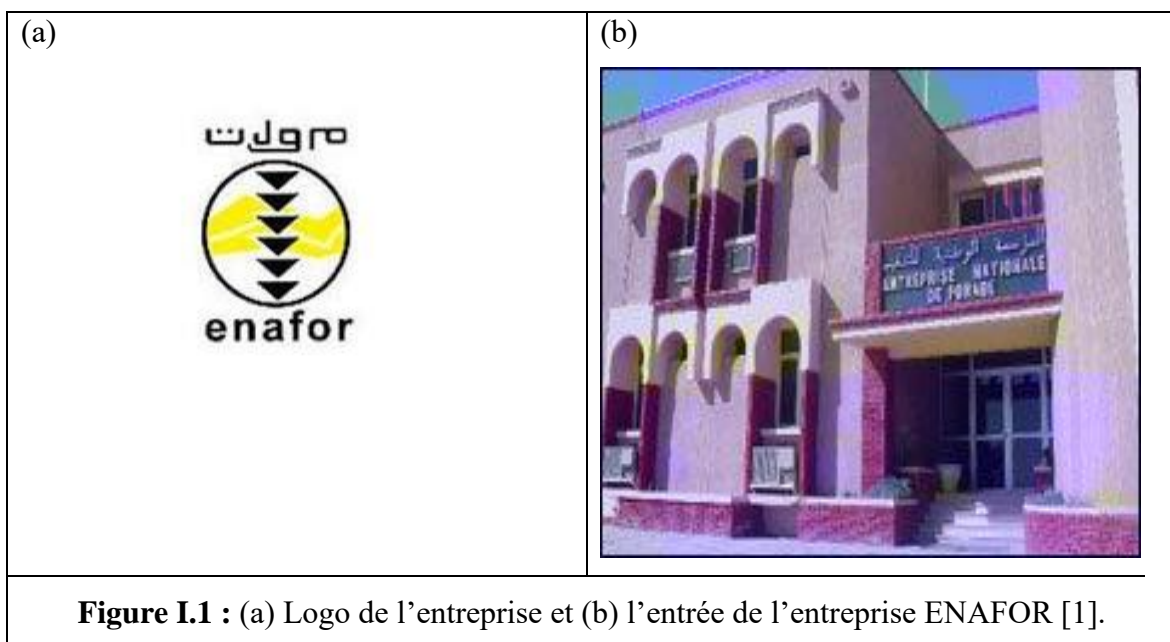
L'ENAFOR joue un rôle important dans l'exploration, la production et la maintenance des puits de pétrole et de gaz en Algérie. Durant les opérations de forage on se trouve souvent confronté à plusieurs problèmes liés au mauvais choix des équipements, mais grâce aux études et aux ingénieurs qualifiés, l'entreprise nationale de forage a pu choisir ces équipements de haute qualité.

Dans ce premier chapitre on va vous présenter l'ENAFOR ou on a fait un stage pratique d'une durée d'un mois, et les équipements utilisés pour réaliser des puits de pétrole et de gaz.

I.2 Présentation de l'entreprise nationale de forage ENAFOR

I.2.1 Définition de l'ENAFOR

L'ENAFOR, acronyme de l'Entreprise Nationale de Forage, est une société spécialisée dans le domaine du forage, son principal client est SONATRACH, elle joue un rôle crucial dans l'industrie nationale de l'énergie en Algérie en opérant principalement dans le secteur de l'exploitation pétrolière et gazière en respectant les normes de sécurité et environnementales les plus strictes. Elle contribue au développement économique du pays en exploitant les ressources naturelles de manière responsable [1].



I.2.2 Historique

Au fil des années, l'ENAFOR a connu une évolution, tant en termes d'expansion de ses activités que d'amélioration de ses compétences et de son expertise. Voici l'évolution de l'ENAFOR au cours des années :

- **Années de création et développement initial (1981-1990)**

- Création de l'ENAFOR en tant qu'entreprise publique spécialisée dans le forage pétrolier et gazier en Algérie, Elle est issue de la dissolution d'ALFOR, société mixte, créée en 1966 entre SONATRACH et SEDCO (USA).
- L'ENAFOR commence à réaliser des opérations de forage dans les champs pétroliers et gaziers du pays.
- Acquisition de compétences techniques et renforcement des capacités de forage.

- **Expansion nationale (1990-2000)**

- L'ENAFOR étend ses activités à travers le territoire algérien en réalisant des forages dans de nouveaux champs pétroliers et gaziers.

- **Consolidation et diversification (2000-2010)**

- Renforcement de l'expertise technique de l'ENAFOR avec l'acquisition de nouvelles technologies de forage.
- ENAFOR lance l'installation du système de gestion intégré SAP.
- Diversification des activités dans d'autres domaines, tels que la géothermie et l'eau souterraine.
- Participation à des projets de forage à l'échelle nationale et internationale.

- **Internationalisation et projets internationaux (2010-2020)**

- Participation à des projets de forage dans d'autres pays, notamment en Afrique et au Moyen-Orient.
- Acquisition d'une expérience précieuse sur les marchés internationaux et renforcement de la réputation de l'ENAFOR.

- **Innovation et adaptation aux nouvelles technologies (depuis 2020)**

- Investissement continu, et installation de plusieurs nouveaux puits au sud d'Algérie.
- Engagement envers l'innovation et l'optimisation des processus de forage.

L'ENAFOR a connu une évolution dynamique au cours des années, passant d'une entreprise nationale de forage pétrolier et gazier à un acteur polyvalent opérant dans divers secteurs.

L'entreprise a renforcé ses compétences techniques, élargi ses activités et adapté ses pratiques aux nouvelles tendances et technologies du secteur du forage [1].

I.2.3 Répartition de l'ENAFOR

L'ENAFOR se devise en trois parties :

- La base de l'entreprise.
- La sonde école.
- Le chantier.

I.2.3.1 La base d'entreprise :

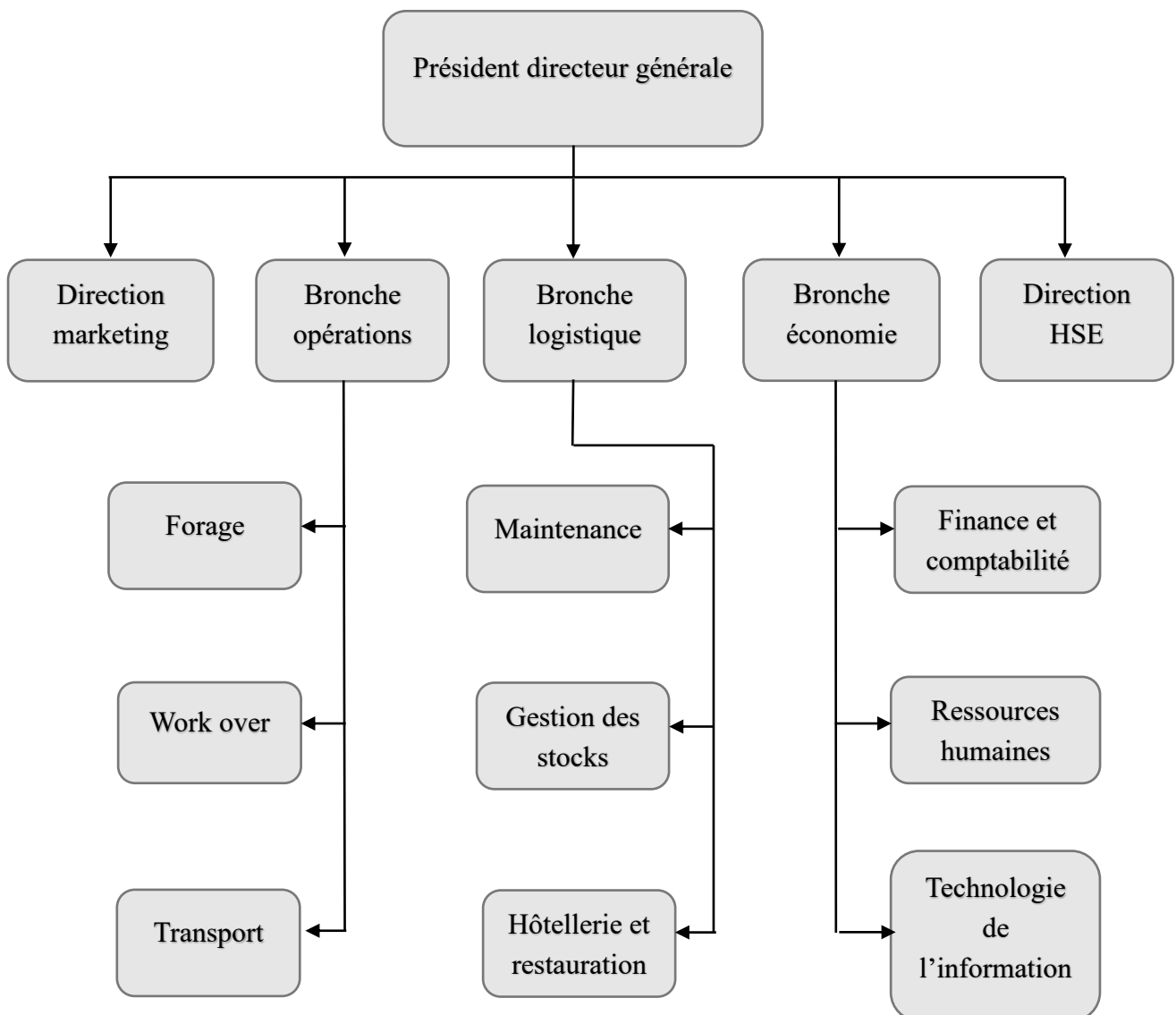


Figure I.2 : Organigramme de la base d'entreprise [1].

I.2.3.2 La sonde école :

ENAFOR avait pour but la prise en charge de la formation spécialisée des nouvelles recrues, elle a adapté des stagiaires visant à attirer, à former et maintenir en poste son personnel de façon à éviter les pénuries de main-d'œuvre et pouvoir répondre continuellement aux exigences des métiers. L'ouverture de la sonde école a permis de disposer d'un potentiel opérationnel riche capable de relever les défis, et par la même occasion d'assurer la relève notamment dans nos métiers de base les objectifs suivants :

- Inculquer au personnel les méthodes de travail et de sécurité sur le chantier HSE.
- Former le personnel d'encadrement aux techniques de forage.
- Offrir les capacités d'analyse et de réaction face à des situations d'urgences.
- Développer les capacités de communication et d'organisation.
- Former un personnel clé sur les appareils de forage comme :
 - o Chef de chantiers.
 - o Chef de poste.
 - o Accrocheur.
 - o Mécanicien.
 - o Electricien.
 - o Gestionnaire de chantier.
 - o Ouvrier de plancher.
 - o Manœuvre de sonde.
 - o Sondeurs.

I.2.3.3 Le chantier :

Le chantier comprend :

- L'appareil de forage.
- Le camp de vie.

L'entreprise nationale de forage ENAFOR a plusieurs chantiers situés à Hassi Messaoud, le chantier 61 est l'un de ces derniers où on a fait notre stage pratique, il a commencé son opération en 2016, et il a pu faire les opérations de maintenance pour des puits avec un bon rendement et moins d'accidents et sans dégât aussi. Actuellement Le chantier ENAFOR 61 est situé à 06 km de la ville de Hassi Messaoud, l'effectif de ce chantier est de 97 personnes qui travaillent au rythme de 04 semaines de travail pour 04 semaines de congé [1].



Figure I.3 : Le chantier de l'ENAFOR [1].

I.2.4 Mission de l'entreprise

- Satisfaire les besoins de ces clients, de ces actionnaires ainsi que ceux de ces employés.
- Respecter les lois applicables et les pratiques pertinentes des standards industriels relatives au HSE.
- Protéger la santé et la sécurité de ces employés sur les lieux de travail ainsi que les tierces personnes concernées par nos activités.
- Améliorer en continue, et de façon efficace et efficiente, tous ces processus afin de garantir la pérennité de l'entreprise
- Promouvoir l'image de marque de l'entreprise [1].

I.2.5 Les activités de l'entreprise

I.2.5.1 Transport :

Les besoins de l'ENAFOR en logistique sont assurés par ses moyens propres (Déménagement, Transport et Montage des appareils, Transport du personnel, transport du carburant, transport du matériel aux chantiers, approvisionnement des chantiers en nourritures, ...etc.) Pour cela, elle dispose d'une importante flotte composée de :

- Véhicules Lourds pour DTM (démontage, transport et montage).
- Moyens de manutention.
- Véhicules légers.

I.2.5.2 Hôtellerie et restauration :

Pour la prise en charge de son personnel en matière d'hébergement et de restauration, ENAFOR dispose, d'un ensemble d'infrastructures et d'équipements dotés de toutes les commodités nécessaires à leur bien être dans un environnement saharien, composé de :

- Bases de vie sises à Hassi Messaoud.
- Camps de vie connexes à l'appareil de forage.

La restauration est assurée soit par les moyens propres de l'entreprise, soit par voie de sous-traitance en « full catering » auprès de sociétés spécialisées dans ce domaine.

I.2.5.3 Maintenance :

Grâce à un personnel hautement qualifié et des ateliers spécialisés, l'entreprise assure par ses propres moyens, la gestion et la maintenance de ses installations de forage, de sa flotte de transports et de ses structures d'accompagnements, grâce en grande partie à la GMAO (Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur). ENAFOR possède aussi des installations qui lui permettent d'intervenir dans d'autres opérations telles que :

- Rénovations & Révisions des appareils de forages.
- Inspection des équipements tubulaires (tiges et masses tiges de forage).
- Inspection et test des équipements de sécurité puits (B.O.P).
- Maintenance, réparations et révisions des véhicules lourds et légers.

I.2.5.4 Forage :

L'entreprise ENAFOR assure de la réalisation du forage confiés par le client de l'Entreprise SONATRASH dans les conditions optimales de couts, de délais, de sécurité et de respect de l'environnement [1].

I.3 Description de l'appareil de forage

I.3.1 Fonctionnement de l'appareil de forage

Au cours de forage d'un puits profond, à l'aide d'une installation de forage, on réalise les opérations suivantes :

- Descente de la colonne de tige de forage dans le puits.
- Rotation d'un outil de forage.
- Injection du liquide de forage dans le puits afin de remonter les déblais de terrain découpés, refroidir le trépan et consolider les parois du puits.

- Rallongement de la colonne de tiges de forage par la mesure de l'augmentation de la profondeur du puits.
- Montée de la colonne des tiges pour remplacer un outil de forage usé.

L'ensemble de tous ces équipements qui travaillent au-dessus de la surface permettent d'assurer cinq fonctions principales :

- Fonction levage.
- Fonction rotation.
- Fonction pompage.
- Fonction sécurité.
- Fonction puissance [1].

I.3.2 Classification des appareils de forage

Deux caractéristiques relativement liées interviennent dans la classification d'un appareil de forage :

- La capacité de profondeur de forage maximale.
- La puissance au treuil

Pour 100 pieds de forage, il faut 10 HP de puissance au treuil et $1 \text{ m} = 3.28083 \text{ pieds}$

D'où :

- Appareil léger 4921 pieds– 6561 pieds 1500m – 2000m 650 HP.
- Appareil moyen 11482 pieds 3500m 1300 HP.
- Appareil lourd 19685 pieds 6000m 2000 HP.
- Appareil super lourd 26246 pieds– 32805 pieds 8000m – 10000m 3000 HP [1].

I.3.3 Répartition des équipements de forage

I.3.3.1 Matériel de fond :

- **Les tiges de forage :**

Ce sont des tiges fabriquées en acier de haute qualité, pour résister à l'environnement de forage, elles descendent le long du puits et qui transmettent le mouvement de rotation de l'outil.



Figure I.4 : Les tiges de forage [2].

- **L'outil de forage :**

Est l'équipement essentiel pour pénétrer et percer le sol pendant le forage, il est généralement équipé des dents, avec ça rotation il fait la destruction des roches.



Figure I.5: L'outil de forage [3].

I.3.3.2 Matériel de surface

a. Equipement de levage

- **Mat de forage :**

A son sommet est placé le moufle fixe, une passerelle d'accrochage est placée à son milieu, elle sert de lieu de travail pour l'accrocheur qui accroche ou décroche les tiges lors de la remontée ou la descente de l'outil dans le puits, entre ses deux il a un moufle mobile

par lequel passe le câble de forage, Un plancher de travail est aménagé aux pieds du mât. Il sert d'aire de travail pour l'équipe.

- **Le câble :**

Le câble de forage est celui qui relie le treuil au moufle mobile, est l'organe de transmission du travail qui permet aux charges d'être déplacées à la verticale dans les deux sens. Outre que le câble s'use en fonction des points particuliers d'usure, il s'use également proportionnellement au travail qu'il effectue. Il est donc nécessaire de contrôler la durée de vie d'un câble en fonction du travail qu'il effectue, de façon à pouvoir établir un programme de son utilisation [1].

- **Le treuil :**

Est l'un des organes principaux d'un appareil de forage, il comprend :

- Un tambour principal sur lequel s'enroule le câble de forage entraînant ainsi la remontée ou la descente de la garniture de forage.
- Un système de freinage destiné à dissiper l'énergie cinétique acquise surtout à la descente par le moufle mobile et sa charge [1].

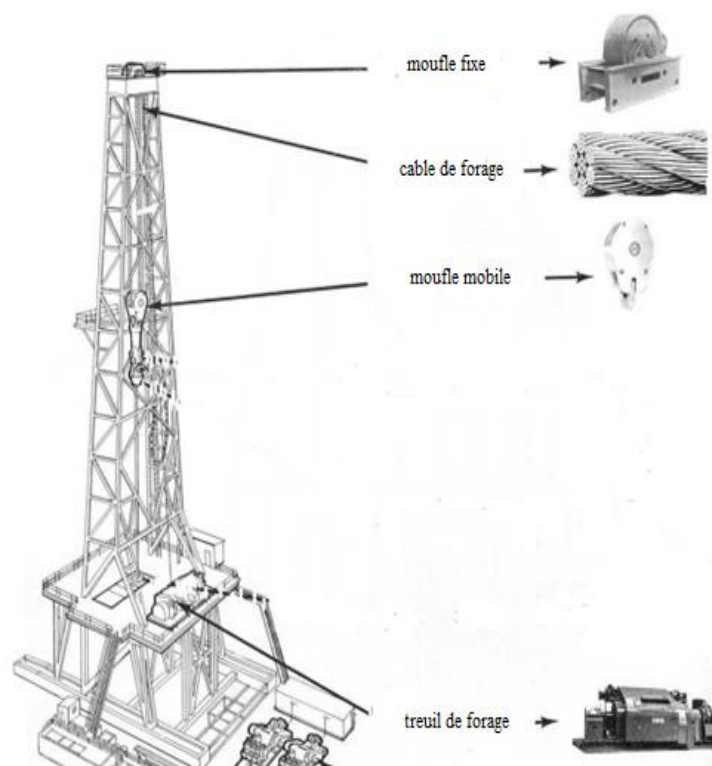


Figure I.6 : Les équipements de levage [1].

b. Equipement de rotation

- **Le top drive :**

Les appareils de forages modernes sont équipés par un nouvel équipement de rotation dite top drive, il permet de faire tourner les tiges de forage en descendant et en montant, il permet un forage plus rapide et plus efficace, et réduit les risques d'accidents liés à la manipulation de tige [1].



Figure I.7 : Top drive [1].

c. Equipement de pompage

- **Bac à boue :**

Appeler aussi réservoir de boue, il est utilisé pour mélanger de la boue avec des agitateurs de boue, qui est un fluide de produits chimique et l'eau de mer, il facilite le processus de forage en refroidissant l'outil de forage et lubrifiant les tiges.



Figure I.8 : Bac à boue.

- **Pompe à boue :**

Une pompe à boue est un équipement essentiel pour le transfert de boue de forage, elle est conçue pour résister à des conditions difficiles, est équipée d'un mécanisme d'aspiration et de refoulement qui permet de créer une pression suffisante pour déplacer la boue à travers les tuyaux [1].



Figure I.9 : La pompe à boue.

d. Equipement de sécurité

- **Le BOP :**

Le BOP veut dire « Blow Out Preventer » donc dispositif de prévention des éruptions, est un dispositif installé sur les puits de forage pour contrôler la pression et prévenir les éruptions et les déversements incontrôlés de pétrole ou de gaz [1].



Figure I.10 : le BOP.

- **Dégazeur :**

Les dégazeurs sont des équipements importants pour maintenir la sécurité et l'efficacité des opérations pétrolières et gazières, en éliminant les gaz dissous. Les fluides utilisés peuvent contenir des gaz dissous tels que le méthane, le dioxyde de carbone et d'autres composés gazeux. Ces gaz dissous peuvent causer des problèmes lorsqu'ils ne sont pas éliminés [1].



Figure I.11 : Le dégazeur.

e. Equipement de puissance

- **Groupe électrogène**

Dans les chantiers de forage, le système de production d'énergie électrique est assuré par des groupes électrogènes diesel, la force motrice sur un appareil de forage fournit l'énergie nécessaire au fonctionnement des équipements de l'appareil de forage, cette force motrice est constituée d'un ensemble d'alternateurs entraînés par des moteurs à combustion interne, les alternateurs produisent un courant alternatif, une partie de l'énergie produite sera redressée en énergie continue pour alimenter les moteurs électriques à courant continu. L'ensemble des moteurs thermiques (Diesel) et alternateurs sont gérés par un système appelé Silicium Control Rectifier SCR. Un package SCR est constitué par des groupes électrogènes, quatre de ces derniers sont capables de fournir toute la puissance en courant alternatif nécessaire au forage. Le groupe électrogène est constitué d'un moteur diesel couplé à un alternateur. L'alternateur est la source principale de l'énergie

électrique alternative triphasée qui alimente les moteurs à courant continue DC des machines de forage à travers le pont SCR avec une tension de 600V et une fréquence 60Hz [1].



Figure I.12 : Groupe électrogène [4].

- Alternateur

Les alternateurs sont des machines synchrones qui fonctionnent en mode génératrice, ils transforment l'énergie mécanique fournie au rotor en énergie électrique. Ce sont des machines très puissantes. Du point de vue mécanique, les deux principaux composants d'un alternateur sont le stator et rotor [4].



Figure I.13 : Alternateur [5].

a. Stator

Comme son nom l'indique, le stator constitue la partie fixe ou statique de l'alternateur, il s'agit donc le plus souvent de l'induit. Le stator se compose alors d'un noyau en tôle d'acier muni d'encoches destinées à recevoir les conducteurs formant les enroulements de l'induit. La fonction principale du stator est de générer le champ magnétique tournant, Le noyau du stator supporte et protège l'enroulement du stator [6].



FigureI.14 : Stator [6].

b. Le rotor

Constitue l'élément mobile de l'alternateur. Il renferme les pièces polaires qui constituent l'inducteur de la machine. C'est pourquoi on l'appelle « roue polaire ».

On distingue deux types de rotor :

- Rotor à pôle saillant : Alternateur avec rotor à pôle saillant est utilisé dans l'application à basse vitesse. Des bobines d'excitation fabriquées de file ou de barre de cuivre, sont fixées directement sur les pièces polaires. Ces bobines sont reliées en série de façon à créer des polarités contraires entre deux pôles voisins. Ces types d'alternateur dont la puissance varie de 1 MVA à 250 MVA équipe la plupart des centrales hydrauliques, les groupes de secours des administrations et des navires [6].



FigureI.15 : Rotor à pôle saillant [6].

- Rotor à pôle lisse : Les rotors à pôle lisse comme celui qui apparaît dans la figure suivante, sont conçus pour les alternateurs tournant à hautes vitesses, leur forme est cylindrique les bobines d'excitation s'insérant dans les entailles usinées à cette fin. Cette machine est appelée turbo alternateur du fait de sa vitesse de rotation élevée. Leur puissance peut

atteindre 1,5 GVA et ils équiperont la plupart des centrales thermiques classiques et nucléaires [6].



Figure I.16 : Rotor à pôle lisse [6].

I.4 Conclusion

Dans ce chapitre on a réparti notre travail en deux, dans la première on a présenté l'entreprise nationale de forage ENAFOR, comment elle est répartie, ses activités et mission, dans la deuxième partie on a présenté les équipements essentiels d'un appareil de forage, qui sont tous alimentés par un groupe électrogène, qui est constitué d'un moteur diesel qui est un moteur à combustion interne, et une génératrice.

Dans le chapitre suivant on va se concentrer sur les moteurs à combustion interne.

**Chapitre II : Généralités sur les
moteurs à combustion interne.**

II.1 Introduction

Comme on l'a vu, dans le chapitre précédent tous les équipements d'un appareil de forage sont alimenté par un groupe électrogène constituée d'un ensemble d'alternateurs entraînés par des moteurs à combustion interne.

Un moteur est une machine qui transforme une forme d'énergie en énergie mécanique pour produire un mouvement. Il existe de nombreux types de moteurs, chacun ayant ses propres avantages et inconvénients en termes de puissance, d'efficacité, de coût et d'impact environnemental. Les moteurs les plus couramment utilisés sont les moteurs à combustion interne, qui utilisent la combustion d'un carburant pour produire de l'énergie thermique qui est ensuite convertie en énergie mécanique.

Ce chapitre on l'a consacré pour vous parler sur les moteurs à combustion interne en générale.

II.2 Généralités sur les moteurs à combustion interne

II.2.1 Définition :

Les moteurs à combustion interne, brûlent du carburant à l'intérieur d'un cylindre pour produire de l'énergie thermique qui est ensuite transformée en énergie mécanique.

II.2.2 Historique :

Au fil du temps, les moteurs à combustion interne ont connu de nombreuses améliorations et évolutions, qui ont conduit à des moteurs plus efficaces, plus propres et plus puissants. Voici une brève chronologie de l'histoire du moteur à combustion interne :

1823 : Le physicien français Sadi Carnot développe le cycle thermodynamique, qui décrit le fonctionnement théorique des moteurs à combustion interne.

1859 : L'ingénieur français François Isaac de Rivaz développe le premier moteur à combustion interne, alimenté par de l'hydrogène et de l'air comprimé.

1860 : Le moteur à combustion interne est amélioré par l'ingénieur belge Etienne Lenoir, qui utilise du gaz de houille comme carburant.

1876 : L'ingénieur allemand Nikolaus Otto développe le moteur à quatre temps, qui est toujours utilisé dans les voitures et les motos aujourd'hui.

1892 : L'ingénieur allemand Rudolf Diesel invente le moteur diesel, qui est plus efficace que les moteurs à essence et est utilisé dans les camions, les navires et les trains.

1923 : Le moteur à deux temps est inventé par l'ingénieur allemand DKW, qui est utilisé dans les petits moteurs à essence tels que ceux utilisés dans les tondeuses à gazon et les motocyclettes.

1955 : Les moteurs à injection sont développés, qui améliorent l'efficacité et les performances des moteurs à combustion interne.

1970 : Les moteurs à turbocompresseur deviennent courants dans les voitures, ce qui permet d'améliorer les performances et l'efficacité énergétique.

1990 : Les moteurs à injection directe sont développés, qui améliorent l'efficacité énergétique et réduisent les émissions de gaz à effet de serre.

2000 : Les moteurs hybrides sont développés, qui combinent un moteur à essence avec un moteur électrique pour une meilleure efficacité énergétique [7].

II.2.3 Les types des moteurs à combustion interne :

Il existe deux modèles de moteurs à combustion interne :

II.2.3.1 Les moteurs à réaction :

Un moteur à réaction, également appelé turboréacteur, est un type de moteur à combustion interne utilisé principalement pour la propulsion des avions. Il fonctionne en aspirant de l'air à travers une entrée d'air, en le comprimant, en y ajoutant du carburant et en le faisant exploser dans une chambre de combustion. La force de l'explosion fait tourner une turbine, qui entraîne le compresseur et l'entrée d'air, produisant ainsi une poussée qui propulse l'avion en avant.

Le moteur à réaction est composé de plusieurs parties, dont les plus importantes sont les suivantes :

- **Le compresseur** : cette partie comprime l'air entrant dans le moteur et l'envoie vers la chambre de combustion.
- **La chambre de combustion** : c'est là que le carburant est mélangé à l'air comprimé et enflammé pour créer une explosion qui produit des gaz chauds.
- **La turbine** : les gaz chauds produits par la combustion passent à travers la turbine, qui entraîne le compresseur et les accessoires du moteur.

- **La tuyère** : cette partie de la sortie du moteur transforme l'énergie des gaz chauds en une poussée propulsive qui pousse l'avion vers l'avant.

En fin de compte, le moteur à réaction fonctionne en utilisant l'action de propulsion des gaz chauds sortant du moteur pour propulser l'avion vers l'avant. Ce principe est à la base de la conception de tous les moteurs à réaction modernes [8].

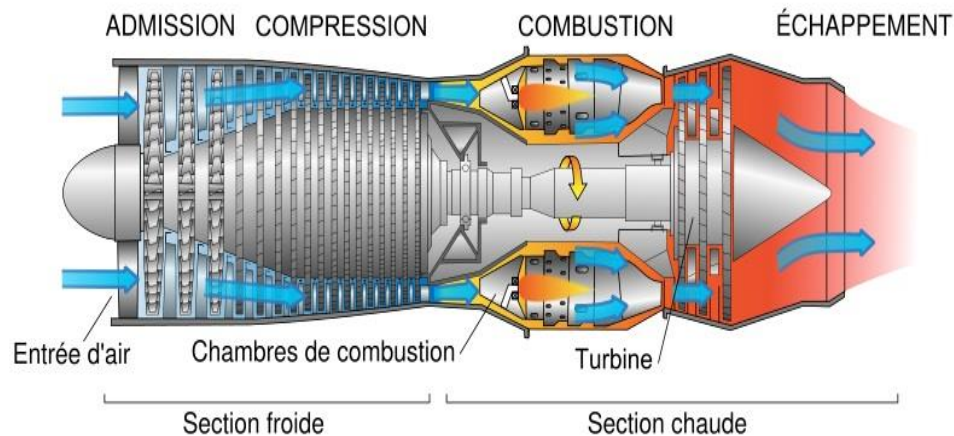


Figure II.1 : Moteur à réaction [8].

II.2.3.2 Les moteurs qui fournissent un couple sur un arbre

Il existe principalement deux types :

a. Moteur à essence

Est un type de moteur à combustion interne qui fonctionne en brûlant du carburant essence dans une chambre de combustion. Le carburant est mélangé avec de l'air dans le système d'alimentation en carburant et est ensuite envoyé dans la chambre de combustion où il est allumé par une étincelle produite par une bougie d'allumage. Cette combustion crée de la chaleur et de la pression, qui poussent un piston à l'intérieur du moteur. La rotation du piston actionne le vilebrequin, qui convertit le mouvement linéaire en mouvement rotatif et fait tourner l'arbre de transmission. Les moteurs à essence sont généralement utilisés dans les voitures et les motos.

Le moteur à essence fonctionne selon le cycle à quatre temps, également connu sous le nom de cycle de Beau de Rochas. Le cycle de Beau de Rochas comprend les étapes suivantes :

- **Admission** : le piston se déplace vers le bas et le mélange air-essence est aspiré dans la chambre de combustion à travers la soupape d'admission.
- **Compression** : le piston remonte et comprime le mélange air-essence dans la chambre de combustion.
- **Combustion** : lorsque le piston atteint le point le plus haut de sa course, une étincelle de bougie enflamme le mélange air-essence comprimé. L'explosion qui en résulte pousse le piston vers le bas, produisant de l'énergie.
- **Échappement** : lorsque le piston atteint le point le plus bas de sa course, la soupape d'échappement s'ouvre et les gaz d'échappement sont expulsés de la chambre de combustion [9].

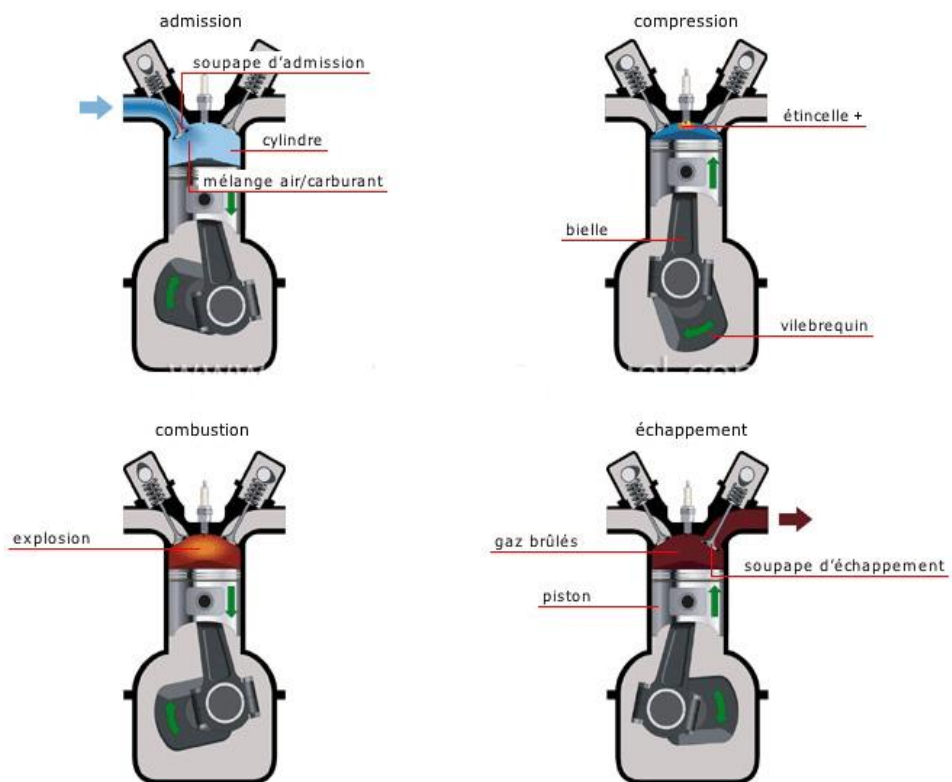


Figure II.2 : Le cycle quatre temps d'un moteur essence [9].

Le cycle recommence ensuite à l'étape d'admission, avec l'aspiration d'un nouveau mélange air-essence dans la chambre de combustion.

Le mouvement du piston est converti en mouvement de rotation par le vilebrequin, qui est connecté au piston par une bielle. L'ensemble de ces mouvements permet d'entraîner la transmission et les roues pour faire avancer le véhicule.

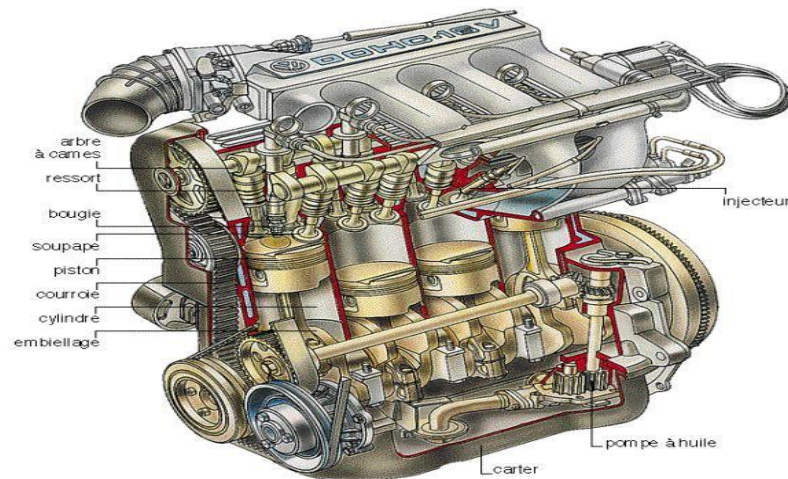


Figure II.3 : Moteur essence [10].

b. moteur diesel

Également appelé moteur à combustion par compression, il utilise du carburant diesel pour générer de la chaleur par compression de l'air dans la chambre de combustion. Cette chaleur enflamme le carburant diesel et pousse le piston, qui produit l'énergie nécessaire pour faire fonctionner le moteur. Ce type de moteur est couramment utilisé dans les camions, les autobus, les bateaux et les groupes électrogènes.

Le moteur diesel utilise le principe de la combustion spontanée du carburant pour produire de l'énergie. Voici les étapes de base du fonctionnement d'un moteur diesel :

- **Admission d'air :** L'air est aspiré dans le moteur par un piston qui descend dans le cylindre. Pendant cette étape, la soupape d'admission s'ouvre pour permettre à l'air de pénétrer dans le cylindre.
- **Compression :** Le piston remonte dans le cylindre, comprimant l'air qui a été aspiré. Pendant cette étape, la soupape d'admission se ferme et la soupape d'échappement reste fermée.
- **Injection de carburant :** Une fois que l'air est comprimé, une petite quantité de carburant diesel est injectée dans la chambre de combustion. La pression élevée créée par la compression de l'air provoque l'auto-inflammation du carburant.
- **Combustion :** Le carburant diesel s'enflamme spontanément au contact de l'air chaud et de la pression élevée dans la chambre de combustion. La réaction de combustion crée une grande quantité de gaz chauds qui poussent le piston vers le bas.

- **Échappement** : Après que le piston ait atteint le point le plus bas de sa course, la soupape d'échappement s'ouvre et les gaz d'échappement sont expulsés du cylindre. Le piston remonte à nouveau, poussant les gaz d'échappement hors du cylindre [9].

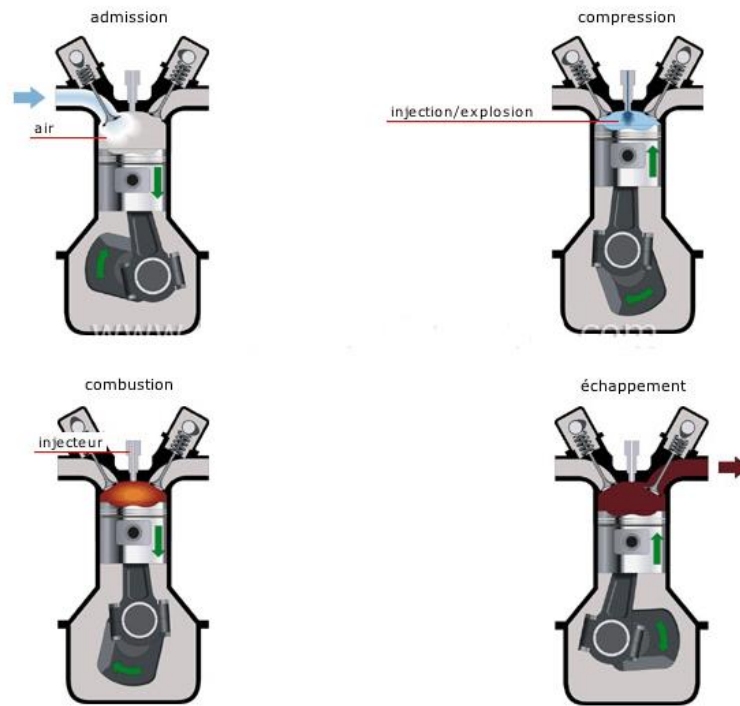


Figure II.4 : Le cycle quatre temps d'un moteur diesel [9].

Le cycle se répète, avec le piston aspirant à nouveau de l'air dans le cylindre pour recommencer le processus.



Figure II.5 : Moteur diesel [11].

II.2.4 Description des organes du moteur

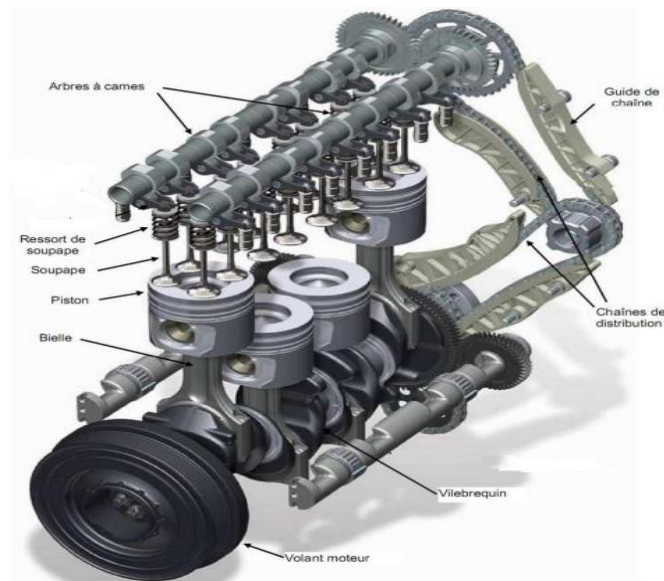


Figure II.6 : Les organes du moteur [12].

On distingue dans un moteur, deux parties d'organes :

II.2.4.1 Organes fixe

- **Bloc moteur :** Aussi appelé bloc cylindre c'est la partie centrale d'un moteur à. Il s'agit d'un ensemble mécanique qui abrite les cylindres, les pistons, les soupapes, l'arbre à cames, le vilebrequin et d'autres composants essentiels du moteur. Le bloc moteur est généralement fabriqué en fonte ou en alliage d'aluminium, il est conçu pour être résister à la pression des gaz de la combustion qui tendent à le dilater et pousser sur la culasse. Il doit guider le piston, d'où la nécessité de réduire le frottement et d'augmenter la résistance à l'usure. Il doit contenir le liquide de refroidissement tout en résistant à la corrosion [13].

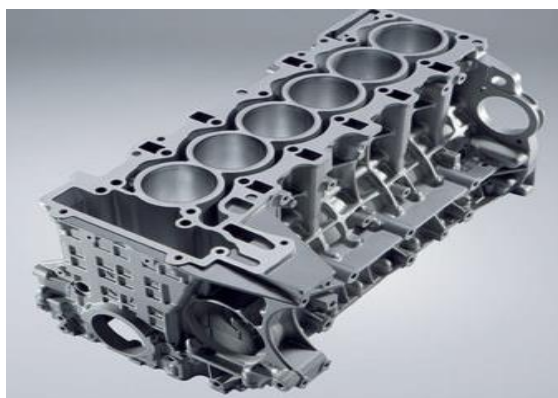


Figure II.7 : Bloc moteur [13].

- **Les cylindre** : Le cylindre du moteur est l'élément cylindrique dans lequel se déplace le piston. On trouve plusieurs cylindres sur un moteur, ils jouent un rôle essentiel au sein du moteur, puisque c'est là qu'a lieu la combustion du mélange air/carburant [14].

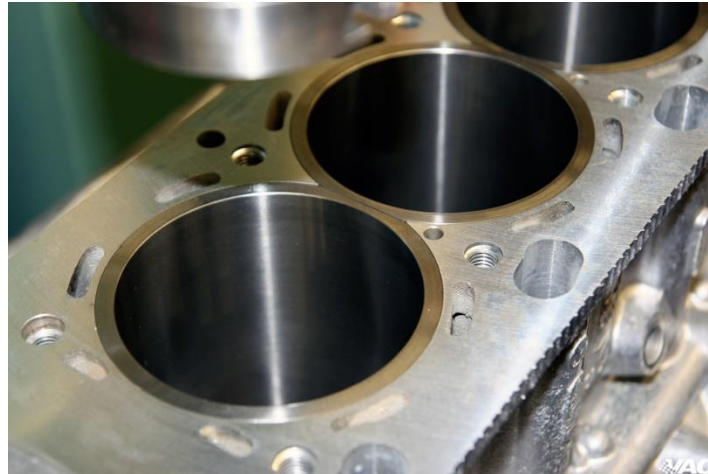


Figure II.8 : Cylindre [14].

- **Carter** : également appelé carter d'huile, est une partie importante du moteur à combustion interne. Il fait partie du système de lubrification du moteur. La principale fonction du carter est de stocker l'huile moteur [15].



Figure II.9 : Le carter [15].

- **Culasse** : La culasse constitue la partie supérieure du moteur, C'est une pièce essentielle qui ferme la chambre à combustion et permet de contrôler le flux d'air entrant et sortant des cylindres, ainsi que le déploiement du carburant. C'est également une pièce extrêmement robuste, car elle doit résister à d'énormes

pressions et à des températures très élevées, tout en conservant sa forme pour assurer l'étanchéité du bloc-cylindres via le joint de culasse. Sa structure est complexe et c'est pour cette raison qu'il s'agit d'une des pièces motrices les plus coûteuses [16].



Figure II.10 : La culasse [16].

II.2.4.2 Organes mobiles :

- **Vilebrequin** : Le vilebrequin est une pièce indispensable de votre bloc moteur. Il est synchronisé avec l'arbre à cames et la pompe à injection par la courroie de distribution. Le rôle du vilebrequin est de transformer le mouvement des pistons en mouvement de rotation [17].

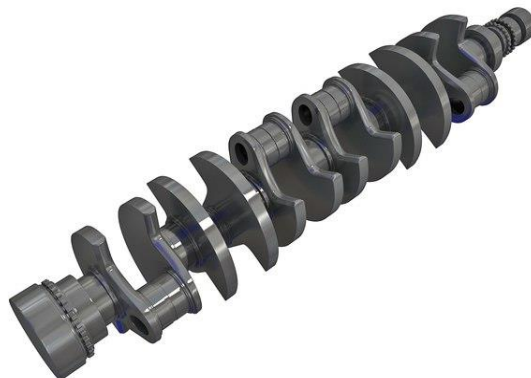


Figure II.11 : Vilebrequin [17].

- **La bielle** : La bielle est une pièce mécanique qui fait partie de votre moteur. Elle sert à transformer le mouvement du piston pour donner sa rotation au vilebrequin. Pour cela, la bielle fonctionne avec une manivelle [14].



Figure II.12 : La bielle [14].

- **Le piston :** Le Piston se déplace dans un cylindre et est relié à un vilebrequin par une bielle. Le rôle du piston est de comprimer le carburant et le gaz extérieur pour créer l'explosion nécessaire à la combustion. Ce mélange sera ensuite transformé en énergie thermique puis mécanique [14].



Figure II.13 : Le piston [14].

- **Les soupapes :** Les soupapes sont des pièces essentielles pour le bon fonctionnement du moteur. Lorsque le moteur est en marche, la soupape est en mouvement. Il existe donc deux positions pour la soupape, la position ouverte et la position fermée, donc on distingue deux types de soupapes, l'une d'admission et l'autre d'échappement, la soupape d'admission est là pour permettre à l'air d'entrer dans la chambre de combustion et la soupape d'échappement permet l'évacuation des gaz brûlés [14].

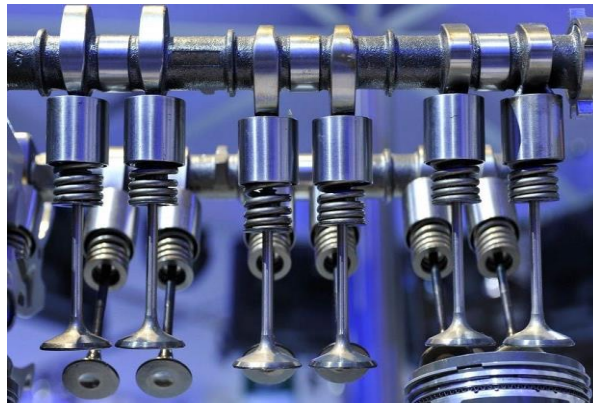


Figure II.14 : Les soupapes [14].

- **Culbuteur :** Un culbuteur est une pièce mécanique essentiel dans un moteur à combustion interne, qui permet le mouvement d'ouverture et de la fermeture des soupapes.



Figure II.15 : Culbuteur [14].

- **Arbre à cames :** L'arbre à cames est une tige cylindrique avec plusieurs parties sortant de l'alignement qui sont appelées des cames. Le nombre de cames correspond aux nombres de soupapes du moteur car quand l'arbre à cames se met à tourner, chaque came appuie sur une des soupapes. Son rôle est donc de synchroniser l'ouverture et la fermeture des soupapes d'admission et d'échappement. Il les contrôle à l'aide d'un mécanisme de pignons. Ainsi, l'arbre à cames fonctionne avec la courroie de distribution, à laquelle il est relié par une poulie. Comme l'arbre à cames est en parfaite synchronisation avec le vilebrequin, il permet une meilleure combustion du moteur au sein des chambres [14].



Figure II.16 : Arbre à cames [14].

II.2.5 Les avantages et inconvénients de chaque type de moteur

II.2.5.1 Moteur à réaction

- **Avantages :**

- Grande puissance : Les moteurs à réaction sont capables de produire une grande puissance, ce qui les rend utiles pour la propulsion d'avions, de missiles, de véhicules spatiaux et d'autres engins.
- Vitesse élevée : Les moteurs à réaction peuvent propulser les avions à des vitesses élevées, ce qui réduit le temps de voyage et améliore l'efficacité de la logistique.
- Autonomie : Les moteurs à réaction ont une grande autonomie, ce qui signifie qu'ils peuvent fonctionner pendant des heures sans avoir besoin d'être remplis ou rechargés.
- Facilité de maintenance : Les moteurs à réaction nécessitent généralement moins d'entretien que les moteurs à piston car ils ont moins de pièces mobiles et moins de points de friction.

- **Inconvénients :**

- Coût élevé : Les moteurs à réaction sont généralement plus coûteux que les moteurs à piston, en raison de leur complexité, de leur technologie avancée et de leur utilisation de matériaux coûteux.
- Consommation de carburant élevée : Les moteurs à réaction ont tendance à consommer plus de carburant que les moteurs à piston, en raison de la force de propulsion élevée qu'ils produisent.
- Bruit : Les moteurs à réaction sont très bruyants, ce qui peut être gênant pour les personnes vivant près d'un aéroport ou dans un lieu où ils sont fréquemment utilisés.

- Impact environnemental : Les moteurs à réaction ont un impact environnemental important, car ils émettent des gaz à effet de serre, de la vapeur d'eau, de la fumée et du bruit, qui peuvent tous avoir des effets négatifs sur la qualité de l'air, le climat et la santé humaine.

II.2.5.2 Moteur essence

- **Avantages :**

- Fonctionnement plus silencieux : les moteurs à essence ont tendance à être plus silencieux que les moteurs diesel, ce qui peut les rendre plus agréables à utiliser pour les conducteurs et les passagers.
- Accélération plus rapide : les moteurs à essence ont souvent une puissance maximale plus élevée que les moteurs diesel, ce qui leur permet d'accélérer plus rapidement.
- Moins polluant : les moteurs à essence ont généralement des émissions de polluants plus faibles que les moteurs diesel, notamment en termes de particules fines.
- Coût initial moins élevé : les moteurs à essence sont souvent moins chers à produire et à acheter que les moteurs diesel, ce qui peut les rendre plus accessibles à un plus grand nombre de personnes.

- **Inconvénients :**

- Efficacité énergétique inférieure : les moteurs à essence ont une efficacité énergétique inférieure à celle des moteurs diesel, ce qui signifie qu'ils peuvent parcourir moins de kilomètres avec la même quantité de carburant.
- Entretien plus fréquent : les moteurs à essence ont souvent besoin d'un entretien plus fréquent que les moteurs diesel, ce qui peut rendre leur utilisation plus coûteuse à long terme.
- Risque d'incendie plus élevé : le carburant essence est plus inflammable que le carburant diesel, ce qui peut augmenter le risque d'incendie en cas d'accident.
- Moins de couple : les moteurs à essence ont souvent un couple moins élevé que les moteurs diesel, ce qui peut les rendre moins adaptés aux véhicules lourds ou aux travaux nécessitant une force de traction élevée.

II.2.5.3 Moteur diésel

- **Avantages :**

- Efficacité énergétique élevée : les moteurs diesel ont une efficacité énergétique supérieure à celle des moteurs à essence, ce qui signifie qu'ils peuvent parcourir plus de kilomètres avec la même quantité de carburant.
- Couple élevé : les moteurs diesel ont un couple plus élevé que les moteurs à essence, ce qui les rend idéaux pour les véhicules lourds ou les travaux qui nécessitent une force de traction élevée.
- Durabilité : les moteurs diesel ont tendance à durer plus longtemps que les moteurs à essence en raison de leur construction plus robuste et de leur faible taux de rotation.
- Faible risque d'incendie : le carburant diesel est moins inflammable que l'essence, ce qui réduit le risque d'incendie en cas d'accident.

- **Inconvénients :**

- Émissions plus élevées de polluants : les moteurs diesel ont tendance à émettre plus de dioxyde de carbone, d'oxydes d'azote et de particules que les moteurs à essence, ce qui a un impact négatif sur l'environnement.
- Bruit et vibration : les moteurs diesel sont souvent plus bruyants et vibrent davantage que les moteurs à essence, ce qui peut rendre leur utilisation moins agréable pour les conducteurs et les passagers.
- Coût initial élevé : les moteurs diesel sont souvent plus chers à produire et à acheter que les moteurs à essence, ce qui peut rendre leur utilisation plus coûteuse à long terme.
- Maintenance plus complexe : les moteurs diesel ont souvent besoin d'une maintenance plus complexe que les moteurs à essence, ce qui peut rendre leur entretien plus difficile et coûteux.

II.3 Conclusion

Les moteurs à combustion interne ont été et continue à être une source d'énergie essentiel dans de nombreux domaines, on a vu que y'a plusieurs types, ils se différencient par rapport au principe de leur fonctionnement, chacun a ses propres avantages et inconvénients, et pour leurs bons fonctionnements il leur faut une maintenance régulière.

Dans le chapitre suivant on va voir une généralité sur la maintenance, ces types et ces méthodes.

**Chapitre III : Généralités sur la
maintenance industrielle**

III.1 Introduction

La maintenance industrielle est un domaine essentiel pour assurer le bon fonctionnement des équipements et des installations dans les environnements industriels, son objectif principal est de garantir la disponibilité et la fiabilité des machines afin de minimiser les temps d'arrêt et les pertes de production.

La maintenance comprend généralement des vérifications périodiques, le remplacement des pièces usées, le nettoyage des composants et des filtres, l'analyse d'huile et des fluides...etc., effectué par un technicien maintenance qualifié ou expérimenté, tout ça pour prolonger la durée de vie du moteur et réduire le coût de réparation,

Dans ce chapitre on va parler sur la maintenance industrielle en générale.

III.2 Définition de la maintenance

D'après l'AFNOR (NFX 606010) : « la maintenance est l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé ».

Dans une entreprise, maintenir c'est effectuer des opérations (dépannage, réparation, graissage, contrôle, etc.), qui permettent de conserver le potentiel du matériel pour assurer la production avec efficacité et qualité.

« Maintenir » c'est intervenir dans des meilleures conditions ou appliquer les différentes méthodes afin d'optimiser le coût global de possession.

Le terme « rétablir », nous assimilons le verbe « rétablir » à une notion de correction sur une entité qui n'est plus en mesure d'accomplir convenablement sa fonction [18].

III.3 Objectifs et importance de la maintenance

L'expérience a montré que toute usine, entreprise ou unité de production n'est jamais bénéficiaire si elle applique une mauvaise maintenance ou elle la néglige, ceci s'explique par la mauvaise connaissance de la vie de matériel, par la négligence des opérations d'entretien et par le manque de soucis de maintenir l'outil de production en bon état. Ces facteurs sont les causes et prolonges les unités entraînant des pertes considérables et des déficits remarquables. Pour éviter des situations pareilles et dégager des bénéfices, les responsables de l'entreprise ont compris le rôle important de la maintenance. Parmi les nombreux objectifs de maintenance nous citons :

- De maintenir l'équipement en bon état de fonctionnement.

- D'assurer une organisation correcte des travaux de réparation selon un planning déterminé pour réduire le temps de réparation et avoir une bonne qualité.
- D'assurer en permanence la production avec des coûts de fonctionnement et d'entretien minimum.
- D'assurer une meilleure gestion de stock des pièces de rechange [19].

III.4 Les types de maintenance

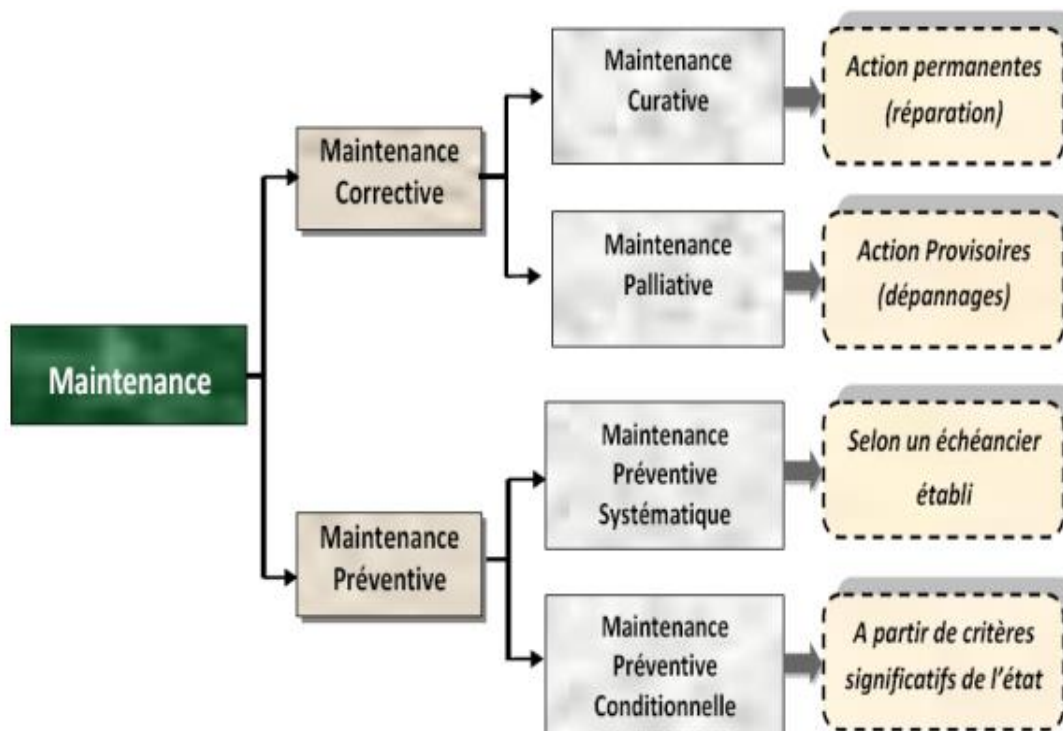


Figure III.1 : Les types de maintenance [20].

III.4.1 La maintenance préventive

Ce type de maintenance s'effectue selon des critères prédéterminés, dont l'objectif est de réduire la probabilité de défaillance des matériels en cours d'utilisation, de diminuer les temps d'arrêt en cas de révision ou de panne et de supprimer les causes d'accidents graves. Elle repose sur des vérifications de conformité, une surveillance périodique permettant de relever des anomalies et exécuter des réglages simples sans outillage spécifique, ni arrêt de l'outil de production.

Toute intervention de maintenance inclut un impact financier. L'analyse des coûts doit mettre en évidence un gain par rapport aux défaillances qu'elle permet d'éviter. C'est aussi

à ce moment que l'entreprise étudie s'il faut décider de passer à l'étape d'une maintenance corrective. On distingue deux types de maintenance préventive :

III.4.1.1 La maintenance préventive systématique :

Elle suit un échéancier généralement établi selon le temps mais aussi selon la quantité de produits fabriqués, la distance parcourue lorsqu'il s'agit d'acheminer des biens, ou encore le nombre de cycles effectués, etc. Cette périodicité d'intervention est déterminée à partir de la mise en service ou après une révision complète ou partielle. Cette méthode de maintenance nécessite de connaître le comportement du matériel, les modes de dégradation et le temps moyen de bon fonctionnement entre deux avaries. Elle s'applique pour la maintenance des équipements soumis à réglementation comme les appareils de levage, extincteurs, équipements sous pression, convoyeurs, ascenseurs, etc. pour les équipements dont la panne risque de provoquer des accidents graves (avions, trains), les équipements ayant un coût de défaillance élevé. C'est le cas des éléments d'une chaîne de production automatisée, comme les pompes industrielles, dans le secteur de la chimie, l'agroalimentaire, la métallurgie ou la chaudronnerie etc. Les industriels ont également recours à cette méthode pour les matériels dont les dépenses de fonctionnement deviennent anormalement élevées au cours de leur temps de service consommation excessive d'énergie, éclairage par lampes usagées, allumage et carburation déréglés, etc.

III.4.1.2 La maintenance préventive conditionnelle :

Elle est comme son nom l'indique conditionnée à un type d'événement prédéterminé : un diagnostic, l'information d'un capteur, une mesure d'une usure, etc.). Cette maintenance prédictive est donc une maintenance dépendante de l'expérience et faisant intervenir des informations recueillies en temps réel. Elle vise en somme à repérer les points faibles. Ces contrôles réguliers et rigoureux permettent de mettre en lumière l'état de fonctionnement du matériel. Suivant le cas, il est souhaitable de mettre les équipements sous surveillance et ensuite de décider d'une intervention lorsqu'un certain seuil est atteint.

Le matériel informatique nécessaire pour assurer la maintenance préventive conditionnelle et analyser le bon fonctionnement des outils de production est souvent onéreux, mais est rentabilisé rapidement.

III.4.2 La maintenance corrective

Les opérations de maintenance corrective ont lieu une fois que la défaillance est repérée. Il s'agit en somme d'un dépannage puisque la maintenance corrective est exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise. Voici les deux types de la maintenance corrective :

III.4.2.1 La maintenance curative

Cette forme de maintenance est appliquée lorsqu'un dysfonctionnement est détecté. Elle a pour objet de réparer cette anomalie. Contrairement au palliatif qui agit dans l'urgence, il s'agit là d'une véritable restauration à long terme, de manière définitive. La maintenance curative est un dépannage prioritaire car les arrêts de production provoquent des pertes lourdes pour les entreprises.

Cette intervention apporte une amélioration des performances et des conditions de production. Elle permet la réparation du matériel endommagé sur site ou en atelier ou l'installation d'un parc de machines neuves. Cette maintenance corrective intervient aussi dans la mise en conformité de l'outil de production après le passage d'un organisme de contrôle qui veille au respect de la législation en vigueur.

III.4.2.2 La maintenance palliative

Elle a pour objectif de rétablir un bien dans un état spécifié, cela ne signifie pas nécessairement son état initial. Par exemple, si une fuite dans une tuyauterie industrielle ou une cuve de stockage survient, l'opération de maintenance palliative devra faire en sorte que ces outils retrouvent leur fonction requise, sans pour autant qu'ils retrouvent leur aspect d'origine. Il s'agit d'une action destinée à permettre à un bien de fonctionner provisoirement.

La maintenance palliative n'est pas une action prévue et ne fait donc pas partie d'une politique de maintenance. Ces actions de dépannage provisoire sont à distinguer de la réparation qui caractérise la maintenance curative. La maintenance palliative peut être dangereuse. Le technicien doit donc, en accord avec la direction de la société, faire la balance entre le danger que pourrait représenter l'arrêt de la production et celui inhérent à toute maintenance palliative [21].

III.5 Les différents niveaux de maintenance

La norme X 60-010 distingue 5 degrés de maintenance, classés de manière croissante, selon la complexité des interventions à effectuer.

- **Maintenance 1er niveau**

Les actions de maintenance premier niveau sont des actions simples nécessaires à l'exploitation et réalisées sur des éléments facilement accessibles, en toute sécurité, à l'aide d'équipements de support intégrés au bien.

Ce sont par exemple les réglages et contrôles ou inspections nécessaires à l'exploitation, les opérations élémentaires de maintenance préventive, le remplacement d'articles consommables ou d'accessoires (fusibles, ampoules...).

Ce type d'opérations peut être effectué par l'exploitant du bien avec les équipements de support intégrés au bien et à l'aide des instructions d'utilisation.

- **Maintenance 2ème niveau**

Le deuxième niveau de maintenance concerne les actions qui nécessitent des procédures simples et/ou des équipements de support (intégrés ou extérieurs) d'utilisation et de mise en œuvre simples. Ce sont par exemple les contrôles de performances, certains réglages, les réparations par échange standard de sous-ensembles dont le remplacement est aisé.

Ce type de maintenance peut être effectué par un personnel habilité avec les procédures détaillées et les équipements de support définis dans les instructions de maintenance.

Sont ainsi concernées par ce niveau les opérations de remplacement de pièces n'entraînant pas de démontage global de l'équipement. C'est donc un travail portant sur les éléments isolés ou des opérations de vérification de résultats tels que le contrôle des performances du matériel livré.

- **Maintenance 3ème niveau**

Le troisième niveau concerne les opérations qui nécessitent des procédures complexes et des équipements de support, d'utilisation ou de mise en œuvre complexes.

Ce sont par exemple les réglages généraux, les opérations de maintenance systématique délicates, les réparations par échanges de composants.

Ces opérations nécessitent une approche globale du fonctionnement de l'équipement, c'est-à-dire la prise en compte de plusieurs éléments, de leurs interactions et de leur cohérence.

- **Maintenance 4ème niveau**

Le 4 -ème niveau concerne les opérations dont les procédures impliquent la maîtrise d'une technologie particulière et la mise en œuvre d'équipements de support spécialisés.

Ce sont par exemple les réparations spécialisées, les vérifications d'appareils de mesure.

- **Maintenance 5ème niveau**

Activités de rénovation ou de reconstruction dont les procédures impliquent un savoir-faire faisant appel à des techniques ou technologies particulières, des processus et des équipements de support industriels [22].

III.6 Les concepts de la maintenance

III.6.1 Maintenance et Entretien

- **Définition Maintenance**

Ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé.

- **Définition de l'entretien**

Ensemble des travaux ayant pour but de maintenir dans leur état initial des ouvrages ou équipements existants, sans changer leur usage ou leur fonction. L'entretien peut s'avérer nécessaire plusieurs fois pendant la durée de vie, il limite ainsi les risques de désordre ou de pannes (composante préventive de la maintenance).

III.6.2 Fiabilité

Aptitude d'un équipement à accomplir une fonction requise dans des conditions données, pendant un intervalle de temps donné.

On suppose en général que l'entité est en état d'accomplir la fonction requise au début de l'intervalle de temps donné.

Le concept de fiabilité est traduit souvent dans la pratique comme l'aptitude d'une entité à avoir une faible fréquence de défaillance.

$R(t)$: Probabilité que l'entité accomplisse une fonction requise dans des conditions données, pendant un intervalle de temps donné $(0, t)$.

III.6.3 Maintenabilité

Aptitude d'un équipement à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits.

$M(t)$: pour une entité utilisée dans des conditions données d'utilisation, probabilité pour qu'une opération donnée de maintenance puisse être effectuée sur un intervalle de temps $(0, t)$, lorsque la maintenance est assurée dans des conditions données et avec l'utilisation de procédures et moyens prescrits.

III.6.4 Disponibilité

Aptitude d'une entité à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou pendant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires soit assurée.

$D(t)$: Probabilité qu'une entité soit en état de disponibilité dans des conditions données, à un instant donné en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires soit assurée.

III.6.5 Panne et Défaillance

- **Panne** : Inaptitude d'une entité à accomplir une fonction requise
- **Défaillance** : Altération ou cessation de l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise

III.6.6 Réparation et Dépannage

- **Réparation** : La réparation consiste en la remise en état, de façon durable, dans le but de supprimer ou de réduire les conséquences de la vétusté, de l'usure ou du désordre, d'un équipement n'assurant plus dans des conditions acceptables la fonction qui est la sienne.
- **Dépannage** : Action sur un équipement en panne, en vue de le remettre en état de fonctionnement, au moins provisoirement. Compte tenu de l'objectif, un dépannage

peut s'accommoder de résultats provisoires et de conditions de réalisation hors norme et dans ce cas, sera suivi de réparation.

III.6.7 Diagnostic :

Analyse d'un ensemble de facteurs ou de symptômes, visant à établir l'état d'un élément ou les causes d'un éventuel désordre constaté, afin de choisir les mesures à prendre pour y remédier.

Examen permettant d'apprécier l'état d'usure d'un composant, afin de déterminer les opérations de maintenance à exécuter, ou la durée de vie restante.

III.6.8 GMAO (Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur)

Système informatique permettant la gestion des moyens nécessaires à la maintenance et la gestion de la mise en œuvre de ces moyens. Une GMAO doit donc permettre :

- De gérer les interventions de maintenance préventive et corrective sur le plan de la programmation technique et sur le plan financier.
- De gérer les stocks et les achats.
- De faire un historique des interventions.
- De gérer les entreprises sous-traitantes ou cotraitantes.
- D'apprécier l'état global de santé des éléments maintenus.
- De prévoir leur remplacement en fonction des durées de vie théoriques et des interventions [22].

III.7 Les méthodes de maintenance

Il existe plusieurs méthodes de maintenance pour garantir le bon fonctionnement du produit, on va vous citer quelques-unes :

- L'AMDEC
- Le diagramme d'Ishikawa ou méthode des 5M.
- L'analyse ABC Pareto.

Donc voici ci-dessous une idée générale sur comment l'utiliser [23].

III.7.1 La méthode AMDEC

III.7.1.1 Définition de la méthode AMDEC :

L'AMDEC est l'analyse des modes de défaillance, de leur effet et de leur criticité. Cette méthode consiste à analyser les modes de défaillance possible d'un produit, d'un processus ou d'un système, à évaluer leur gravité et leur probabilité d'occurrence, à déterminer les actions à mettre en place pour prévenir ou réduire les risques identifiés, et à suivre l'efficacité de ces actions [24].

III.7.1.2 But AMDEC :

- Réduire le nombre des défaillances.
- Prévention des pannes.
- Améliorer la maintenance préventive.
- Réduire les temps d'indisponibilité parés défaillance.
- Prise en compte de la maintenabilité dès la conception.
- Améliorer la maintenance corrective.
- Améliorer la sécurité.

III.7.1.3 Mise au point de la fiche d'analyse :

Est un document qui permet de répartir les résultats de l'analyse AMDEC en quatre grandes familles :

- Analyse fonctionnelle.
- Analyse de défaillance.
- Estimation de criticité.
- Mesure à appliquer.

Tableau III.1 : Exemple de feuille d'AMDEC.

Analyse fonctionnelle		Analyse de défaillance			Estimation de criticité				Mesures
Composant	Fonction	Mode	Cause	Effet	G	O	D	I _C	Mesures envisagées
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

a. Analyse fonctionnelle :

- Colonnes 1 et 2 :

Les colonnes 1 et 2 se déduisent de l'analyse fonctionnelle préliminaires nécessaires à la conception du système elles reprennent la liste des sous-ensembles ou des composants du système étudié avec leurs fonctions associées.

b. Analyse des défaillances :

- Colonne 3 : mode de défaillance

Le mode de défaillance et la manière par laquelle une défaillance est observé sur un système. C'est la manière dont un système peut en venir à ne plus remplir sa fonction. Le mode s'exprime en termes physique : bouchage, blocage, fermeture, arrêt etc.

33 modes de défaillance générique sont proposés dans la norme AFNOR X 60-510 voir le tableau ci-dessous :

Tableau III.2 : Liste des modes de défaillance.

1	Défaillance structurelle (rupture)	18	Mise en marche erronée
2	Blocage physique (ou coincement)	19	Ne s'arrête pas
3	Vibrations	20	Ne commute pas
4	Ne reste pas en position	21	Fonctionnement prématuré
5	Ne s'ouvre pas	22	Fonctionnement après le délai (retard)
6	Ne se ferme pas	23	Ne démarre pas
7	Défaillance en position ouverte	24	Entrée erroné (augmentation)
8	Défaillance en position fermée	25	Entrée erroné(diminution)
9	Fuite interne	26	Sortie erroné (augmentation)
10	Fuite externe	27	Sortie erroné(diminution)
11	Depasse la limite supérieure tolère	28	Perte de l'entrée
12	Est en dessous de la limite supérieure	29	Perte de la sortie
13	Fonctionnement intempestif	30	Court-circuit (électrique)
14	Fonctionnement intermittent	31	Circuit ouvert (électrique)

15	Fonctionnement irrégulier	32	Fuite (électrique)
16	Indication erronée	33	Autre condition de défaillance exceptionnelles suivant les caractéristiques du système, les conditions de fonctionnement et les contraintes opérationnelles
17	Écoulement réduit		

- Colonne 4 : causes de défaillance

Elle se déduit de la colonne 3, à un mode de défaillance peuvent être associer plusieurs causes.

- Colonnes 5 : effets de la défaillance

Elle se déduisent de la colonne 3, les effets sont envisagés localement au niveau du sous-système étudié, et globalement comme conséquences possibles sur la mission du système et sa sécurité.

c. Analyse de criticité de chaque mode de défaillance

- Colonnes 6,7 et 8 :

G est l'indice de gravité, il s'évalue à partir des effets (colonne 5) par une note estimée de 1(minneur) à 5(catastrophique). Suivant le système la gravité relative peut s'estimer sur plusieurs critères : sécurité des personnes, des biens, défaut de qualité, perte de disponibilité, pénalisation de la production, etc.

Tableau III.3 : Niveau de gravité.

Classe	Gravité productivité
5	Gravité catastrophique arrêt de production plus de 2 heure
4	Gravité majeur arrêt de production de 1 heure
3	Gravité moyenne arrêt de production 20 minute à 40 minute
2	Gravité significative arrêt de production 10 minute à 20 minute
1	Gravité mineure arrêt de production inferieure 5 minute

O est l'indice d'occurrence il s'évalue à partir des probabilités des causes (colonne 4) par une note estimée de 1(improbable) à 5(fréquente).

Tableau III.4 : Fréquence d'apparition de la cause du mode de défaillance.

Classe	Occurrence
5	Une défaillance par semaine
4	Une défaillance par mois
3	Une défaillance par trimestre
2	Une défaillance par semestre
1	Une défaillance par un

D est l'indice de non-défectabilité, il s'évalue à partir du mode de défaillance (colonne3) par une note estimée allant de 1 (la dégradation qui prévient) à 4(défaillance soudaine).

Tableau III.5 : niveau de détectabilité.

Classe	Détectabilité
5	Aucune détection possible
4	Détection en visite préventive
3	Détection après arrêt machine
2	Détection immédiate par opérateur (dégradation sonore, visuel...)
1	Détection en temp réel (capteur, alarme...)

- Colonne 9 : indice de criticité

Chaque mode de défaillance identifié sera caractérisé par son indice de criticité :

$$I_c = G * O * D$$

Tableau III.6 : Niveau de criticité.

Niveau de criticité	Signification
$1 \leq C < 10$	Criticité négligeable
$10 \leq C < 18$	Criticité moyenne
$18 \leq C < 27$	Criticité élevée
$27 \leq C < 64$	Criticité interdite

d. Proposition d'améliorations

- Colonne 10 : mesures envisagées

Elle est souvent décomposée suivant les rubriques possibles :

- Modification de conception.
- Moyens de détection ou consignes de surveillance ou inspection périodique.
- Dispositif de remplacement, reconfigurations, repli.
- Observation, recommandation [24].

III.7.2 La méthode des 5M

III.7.2.1 Définition :

C'est une méthode d'analyse qui permet d'identifier toutes les causes possibles d'un problème qui s'est posé, appelée aussi diagramme de poisson ou méthode ISHIKAWA.

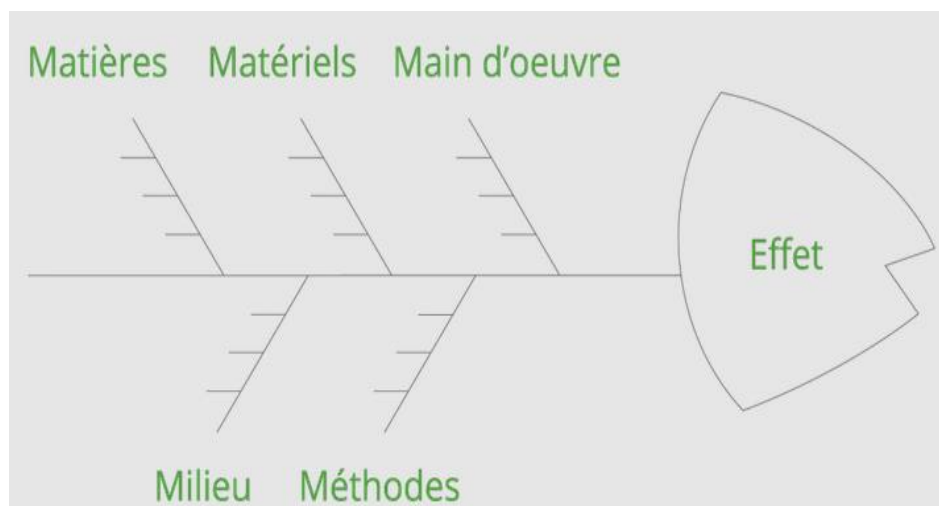


Figure III.2 : Diagramme de poisson [25].

Autrement dit, elle utilise une représentation graphique pour matérialiser de manière structurée le lien entre les causes et leur effet (défaut, panne, dysfonctionnement). Pour détecter de **potentielles causes** agissantes directement ou indirectement sur le problème étudié.

III.7.2.2 Les 5M

- **Matière :** toutes causes liées aux éléments utilisés dans le processus de fabrication comme l'utilisation de matières premières périmées, des fournitures de mauvaise qualité ou des pièces avec des défauts.

- **Milieu** : désigne tout l'environnement quel qu'il soit, qui peut avoir de l'impact sur l'accomplissement du projet, de l'activité ou de l'évènement, la chaleur le froid les intempéries.
- **Méthodes** : On fait allusion à ce titre aux méthodes de travail, procédures mises en place, organisation des tâches, aux descriptifs des jobs, marches à suivre, recherches et développement, logique de processus, planning des activités, objectifs stratégiques à réaliser, systèmes politiques et culturels à respecter...
- **Matériel et Moyen** : Il s'agit à ce niveau de tous les outils, machines et équipements nécessaires à bien mener un projet, machines, outils, logiciels, s'il y en a qui sont défectueux, obsolètes ou non adaptés. Autrement dit tout l'arsenal indispensable à la réalisation du travail et engendrant en principe des budgets d'investissements notables.
- **Main d'œuvre** : Il s'agit de toute personne impliquée, d'une façon ou d'une autre, dans le projet, mission ou évènement étudié : dimension d'aptitudes, niveau de connaissances, degré de compétences, échelle de motivation, portée d'influence, effectif du personnel, hauteur de coordination, département concerné, organigramme, organisation des équipes...

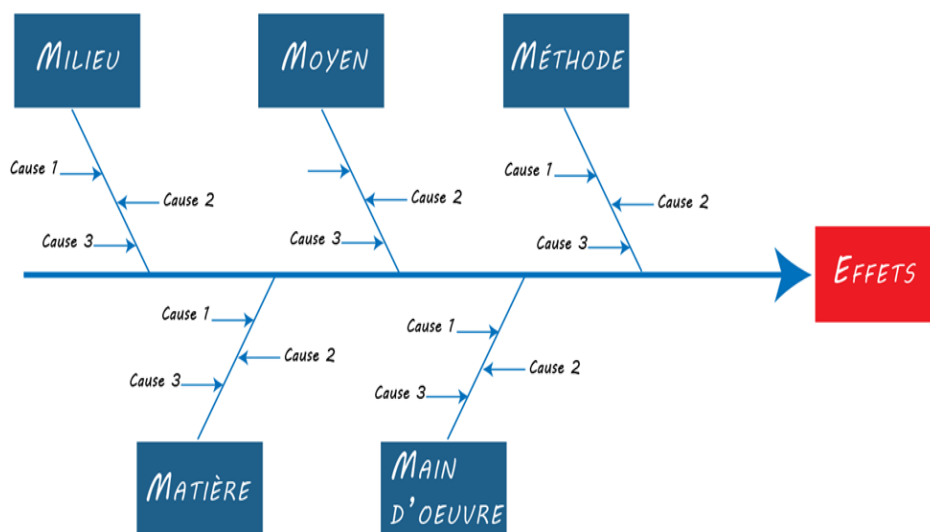


Figure III.3 : Forme générale de 5M [25].

III.7.2.3 Comment faire le schéma avec les 5 M ?

- **Étape 1 : Nommer le problème**

Commencez par identifier « l'effet » à étudier. Le plus souvent, il s'agit d'un problème à résoudre, mais il peut aussi s'agir d'un objectif à atteindre.

- **Étape 2 : Lister les causes possibles**

Vous retirez les différentes causes qui influencent votre problématique.

- **Étape 3 : utiliser les 5 M pour classer les causes**

Répertoriez les problèmes évoqués avec la méthode des 5 M et le diagramme d'Ishikawa. Chaque famille de causes forme une arête du poisson d'Ishikawa.

- **Étape 4 : Évaluer les branches qui ont le plus d'impact**

Il s'agit de définir les M (les familles) qui ont le plus d'impact pour hiérarchiser les étapes du projet ou les actions correctives.

- **Étape 5 : Construire le diagramme**

Le schéma est la synthèse de la méthode des 5 M, qui est avant tout un moyen mnémotechnique pour ne pas passer à côté d'un axe de réflexion [25].

III.7.3 La méthode ABC Pareto

III.7.3.1 Définition :

Il s'agit d'une méthode de choix qui permet de déceler entre plusieurs problèmes, ceux qui doivent être abordés en priorité. La courbe ABC permet donc de distinguer de façon claire les éléments importants de ceux qui le sont moins et ceci sous la forme d'une représentation graphique. Cette règle de répartition a été définie par Vilfredo PARETO. Exemple de répartitions appliquées à la maintenance :

- 20% des systèmes représentent 80% des pannes.
- 20% des interventions représentent 80% des coûts de maintenance.
- 20% des composants représentent 80% de la valeur des stocks.

III.7.3.2 l'objectif de Pareto

L'exploitation de cette loi permet de déterminer les éléments les plus pénalisants afin d'en diminuer leurs effets :

- Diminuer les coûts de maintenance.
- Améliorer la fiabilité des systèmes.
- Justifier la mise en place d'une politique de maintenance.

III.7.3.3 comment applique la méthode ABC :

L'étude suppose obligatoirement que l'on dispose d'un historique d'une période antérieure ou de prévisions. Pour une analyse donnée, l'application de la loi de Pareto impose plusieurs étapes :

- Définition de l'objectif de l'étude et de ses limites, ces éléments peuvent être des matériels, des causes de pannes, des natures de pannes, etc.
- Choisir le critère de classement. Organiser le classement selon les critères de valeurs retenus (les coûts, les temps, les rebuts, etc.).
- Construire un graphique. Ce graphe fera apparaître les constituants sur la situation étudiée.
- Déterminer les zones ABC [26].

III.8 Conclusion

La maintenance joue un rôle crucial dans tous les domaines. On a vu dans ce chapitre ces types, ces différents niveaux, ces concepts et les méthodes utilisés pour faciliter le travail de maintenance.

Avant toute intervention, il faut bien connaître la machine, ses caractéristiques et son fonctionnement.

Dans le prochain chapitre on va voir une description du moteur diesel Caterpillar 3512 et la maintenance faite au sein de l'entreprise ENAFOR.

**Chapitre IV : Description du moteur
Caterpillar 3512 et la maintenance
appliquée dans l'entreprise**

IV.1 Introduction

Le moteur Caterpillar 3512 est la partie mécanique d'un groupe électrogène utilisé dans une station pétrolière.

Le moteur Caterpillar est un moteur diesel qui transforme énergie thermique en énergie mécanique comme tous les moteurs il a besoin d'une maintenance pour conserver son bon fonctionnement.

Dans ce chapitre en vas faire la description du moteur diesel Caterpillar 3512, son principe de fonctionnement, les systèmes et leurs circuits et la maintenance faite dans l'entreprise ENAFOR.

IV.2 descriptions de moteur diesel CATERPILLAR 3512

IV.2.1 Définition

Le moteur Diesel CATERPILLAR 3512 est un moteur diesel à combustion interne utilisé dans de nombreux équipements lourds, tels que les groupes électrogènes qui sert à générer de l'électricité. Il est utilisé beaucoup plus dans les chantiers pétroliers, pour alimenter tous les équipements de forage.

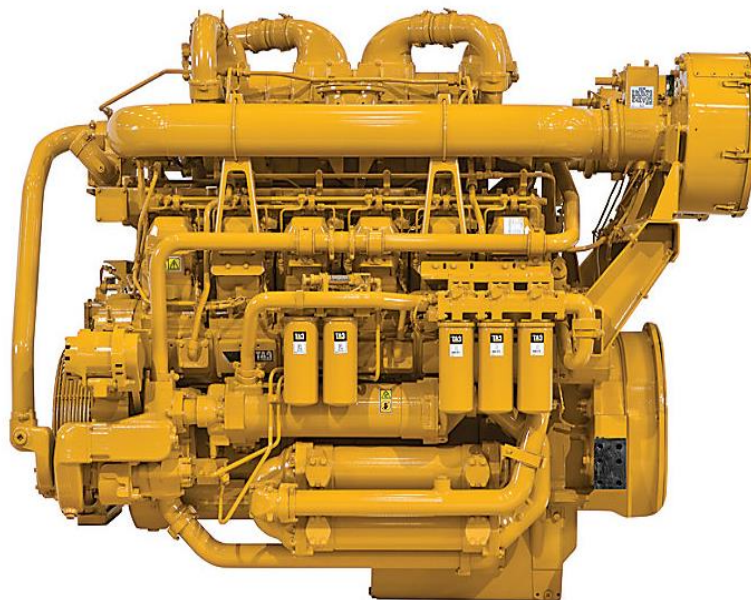


Figure IV.1 : Moteur diesel Caterpillar 3512 [4].

IV.2.2 Caractéristique du moteur Caterpillar 3512

Tableau IV.1 : caractéristique du moteur Caterpillar 3512 [4].

Puissance maximale	1119 KW
Couple maximal	1400 toure par minute
Régime nominal	1 200-1 800 tr/min
Puissance minimal	761 KW
Configuration du moteur	Diesel 12 cylindres en V, cycle à 4 temps
Alésage	170 mm
Course	190 mm
Cylindrée	51.8 l
Aspiration	Suralimenté à refroidisseur d'admission
Rotation coté volant	Sens inverse d'horloge
Longueur	2676 mm
Largeur	1704 mm
Hauteur	1720 mm
Poids, net à sec	6078 Kg

IV.2.3 Principe de fonctionnement du moteur Caterpillar 3512

Le moteur CAT 3512 est un moteur de série 3500, 12 cylindres en V. C'est un moteur Diesel à quatre temps à injection directe suralimentée par deux turbocompresseurs qui tournent à une vitesse de 45000 à 60000 tr/mn, chaque culasse comporte deux soupapes d'admission et deux soupapes d'échappement, l'arbre à came actionne mécaniquement les culbuteurs et les soupapes par l'intermédiaire de poussoirs. Le gas-oil est injecté directement dans le cylindre, la pompe d'injection combine le dosage et le pompage de gas-oil qui est acheminé aux injecteurs (un par cylindre). L'air d'admission est filtré par le filtre à air, l'air est comprimé par le turbo-compresseur avant de pénétrer dans les cylindres, le turbocompresseur est entraîné par les gaz d'échappement du moteur. Le moteur est suralimenté et inter refroidi, le liquide de refroidissement du refroidisseur est mis en circulation par la pompe à eau dans le bloc cylindres [27].

Un cycle complet vaut cinq phases successives suivantes :

- La 1^{ère} phase : Est celle d'admission qui fait introduire de l'air frais dans le cylindre par l'intermédiaire des soupapes d'admission ouvertes.

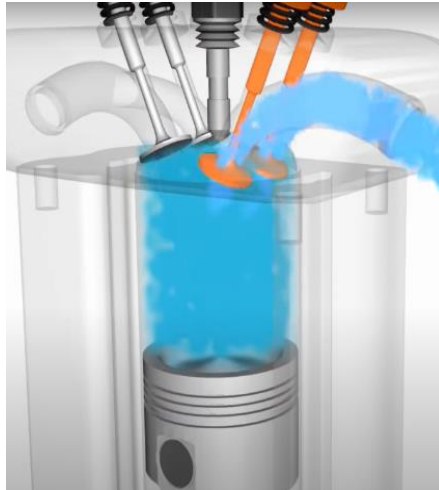


Figure IV.4 : L'admission [28].

- La 2^{ème} phase : Fait comprimer l'air à une pression de 30 à 40 bars se trouvant emprisonné dans le cylindre par l'intermédiaire de piston. Cette compression brutale engendre une température de l'air de 500°C.



Figure IV.5 : La compression [28].

- La 3^{ème} phase : Fait injecter du gas-oil sous forme de brouillard dès que le piston est au voisinage de PMH. Au contact de l'air surchauffé, le gas-oil s'enflamme spontanément.



Figure IV.6 : Explosion [28].

- La 4^{ème} phase : Entre en action et provoque une augmentation de volume des gaz qui chasse violemment le piston vers le PMB. Le volant reçoit de l'énergie durant cette phase pour franchir et vaincre les temps résistants.

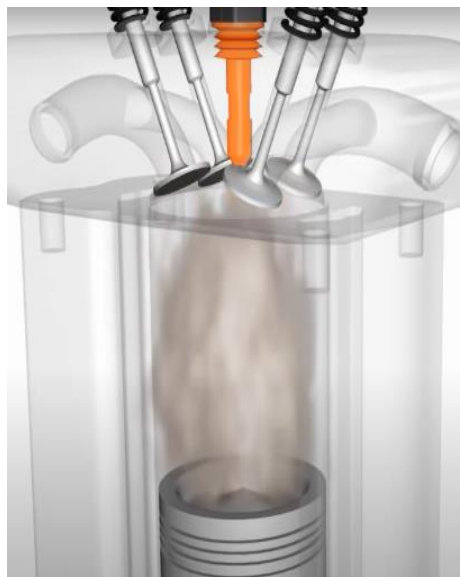


Figure IV.7 : Augmentation de volume des gaz [28].

- La 5^{ème} phase : Est celle d'échappement qui fait chasser les gaz brûlés vers l'atmosphère par l'intermédiaire des soupapes d'échappement ouvertes.



Figure IV.8 : L'échappement [28].

IV.3.5 Etude des systèmes et leurs circuits

IV.3.5.1 Système de distribution :

Le mouvement circulaire du vilebrequin (bas moteur) est transmis à l'arbre à cames (haut moteur) par le biais d'un système appelé **système de distribution** puisqu'il est chargé d'utiliser et de distribuer la force transmise par le bas moteur à l'ensemble du moteur et ainsi faire fonctionner ensemble des éléments mécaniques.

Dans notre cas le système de distribution se fait par courroie.

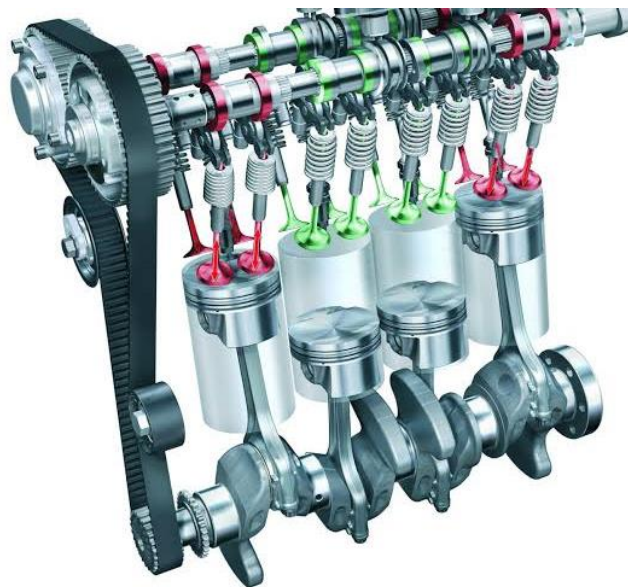


Figure IV.9 : Système distribution [29].

IV.3.5.2 Système de refroidissement :

Le système de refroidissement a pour but de refroidir le moteur, pour éviter les risques de surchauffe qui causent des pannes coûteuses. Le circuit de refroidissement est composé de plusieurs éléments qui permettent la bonne circulation du liquide de refroidissement et ainsi la bonne température du moteur entre 75° et 90°.

- **Canalisation du liquide :** les tuyauteries qui permettent au liquide de refroidissement de circuler.
- **Liquide de refroidissement :** composé d'eau glycol d'additifs qui évite le gel et l'ébullition.
- **Radiateur :** permet au liquide de refroidir.
- **Ventilateur :** il aspire l'air ambiant travers le radiateur.
- **La pompe à eau :** elle accélère la circulation du liquide et gère son débit.
- **Thermostat :** valve qui contrôle la circulation du liquide de refroidissement, elle s'ouvre quand la température augmente et se ferme quand elle diminue.

Le système de refroidissement est un système fermé, La pompe à eau aspire l'eau du radiateur à travers une conduite, le débit d'eau de refroidissement est divisé à la sortie de la pompe à eau en deux parties. Une partie de 40% du débit est envoyée vers le refroidisseur d'air d'admission et l'autre de 60% est envoyée vers le refroidisseur d'huile de lubrification. L'eau se dirige vers le boîtier des thermostats. Le boîtier a un passage supérieur et un passage inférieur. Si l'eau est encore froide alors il est envoyé à la conduite by-pass (passage inférieur) vers la pompe à eau, au fur et à mesure que l'eau s'échauffe et dès qu'elle atteint 85°C, les thermostats commencent à s'ouvrir pour laisser l'eau passer par le passage supérieur vers le radiateur qui est chargé d'évacuer la chaleur d'eau à l'aide de l'air ventilé [30].

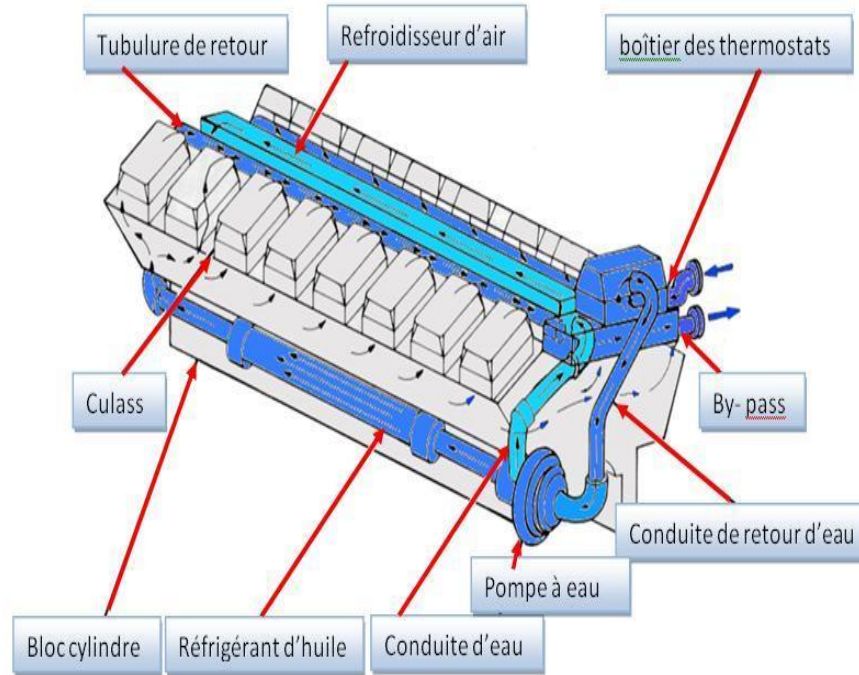


Figure IV.17 : Système de refroidissement [19].

IV.3.5.3 Système de graissage :

Le système de graissage est destiné à protéger les pièces en mouvement de l'usure et de diminuer les frottements qui sont à l'organe de l'usure.

Les éléments qui composent le système de graissage sont :

- **Carter d'huile** : est le réservoir d'huile, il est situé à la partie inférieure du moteur
- **Les canalisations d'huile** : les tuyauteries qui conduisent l'huile vers différentes parties des moteurs.
- **La pompe à huile** : aspire l'huile du carter et la refoule vers les canalisations, cette huile va passer avant par les filtres à huile.
- **Les filtre d'huile** : bloquent les impuretés qui peuvent être dans l'huile.

La pompe à huile aspire de l'huile du carter à travers une crépine et à travers le coude. La pompe à huile refoule de l'huile vers le refroidisseur d'huile, cette huile entre et sort travers les filtres vers la rampe de graissage qui distribue l'huile au organes moteur à lubrifier [31].

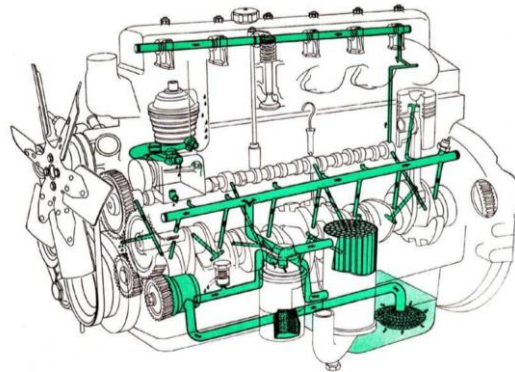


Figure IV.11 : Système de graissage [31].

IV.3.5.4 Système de carburant :

Le circuit de combustible est composé de l'ensemble des éléments qui servent à acheminer le carburant du réservoir au moteur :

- **Préfiltre** : il filtre les impuretés de carburant, son rôle est de protéger la pompe d'alimentation.
- **Pompe d'alimentation** : son rôle est d'amener le carburant du réservoir à la pompe d'injection à basse pression.
- **Filtre** : il bloque les impuretés qui peuvent se trouver dans le carburant.
- **Pompe d'injection** : son rôle est d'amener le carburant vers les injecteurs avec une haute pression.
- **Les injecteurs** : ils pulvérisent le gasoil sous forme de microscopiques gouttelettes au moment de la fin de cycle de compression.

Le gasoil venant du réservoir est filtré par un préfiltre avant de passer à la pompe d'alimentation pour qu'il soit refoulé à la pompe d'injection avec une basse pression, mais avant il passe par un filtre à gasoil qui bloque les impuretés qui peuvent y avoir de dans, puis la pompe d'injection refoule le gasoil avec une haute pression vers les injecteurs qui ont pour rôle de pulvériser le gasoil sous forme de microscopiques gouttelettes au moment de la fin de cycle de compression [32].

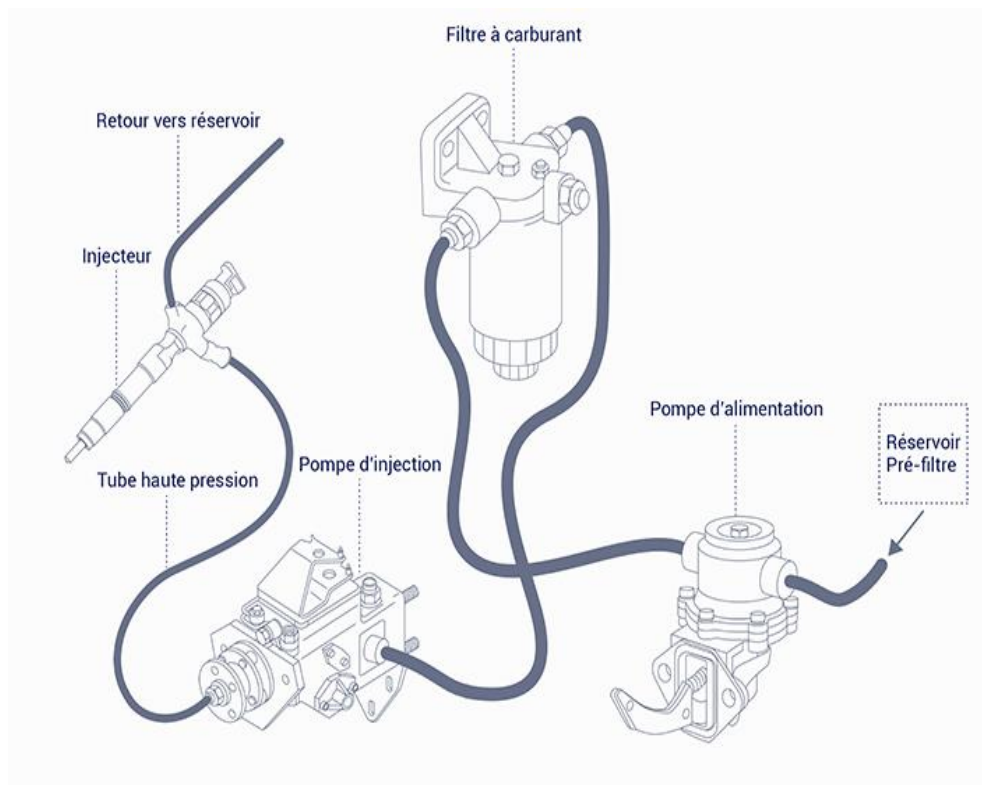


Figure IV.12 : Système de carburant [32].

IV.3.5.5 Système d'air d'admission et échappement :

Le rôle essentiel du circuit d'admission est donc de purifier cet air aspiré, afin d'éviter l'introduction des poussières qui sont l'une des causes d'usure des organes mécaniques.

Le système d'air d'admission et d'échappement se compose de plusieurs éléments qui sont les suivants :

- **Filtre à air** : il bloque les impuretés qui peut se trouver dans l'air.
- **Débitmètre d'air massique** : il mesure la quantité d'air qui entre dans le moteur.
- **Turbocompresseur** : il augmente la puissance du moteur en utilisant les gaz d'échappement pour comprimer l'air d'admission avant qu'il n'entre dans les chambres de combustion.
- **Refroidisseur d'air** : est un échangeur de chaleur qui refroidit l'air comprimé par le turbocompresseur avant qu'il n'entre dans le cylindre.
- **Collecteur d'admission** : il collecte l'air filtré et le distribue de manière égale à chaque cylindre.

- **Collecteur d'échappement** : il collecte les gaz d'échappement sortants de chaque cylindre et les regrouper en un flux unique et facilite le récolement vers le système d'échappement.
- **Tuyau d'échappement** : il est responsable de l'évacuation des gaz d'échappement.

Le système d'admission d'air du moteur Caterpillar est responsable de fournir un flux d'air frais vers les cylindres, donc l'air entrant va être comprimé par deux turbocompresseurs puis refroidit par un échangeur de chaleur, puis filtrer par un filtre à air, après il entre dans les collecteurs d'admission pour qu'il soit également distribuer pour chaque cylindre. Après la combustion du mélange air carburant les gaz d'échappement passe par des collecteurs d'échappement pour qu'ils s'évacuent par un tuyau d'échappement [33].

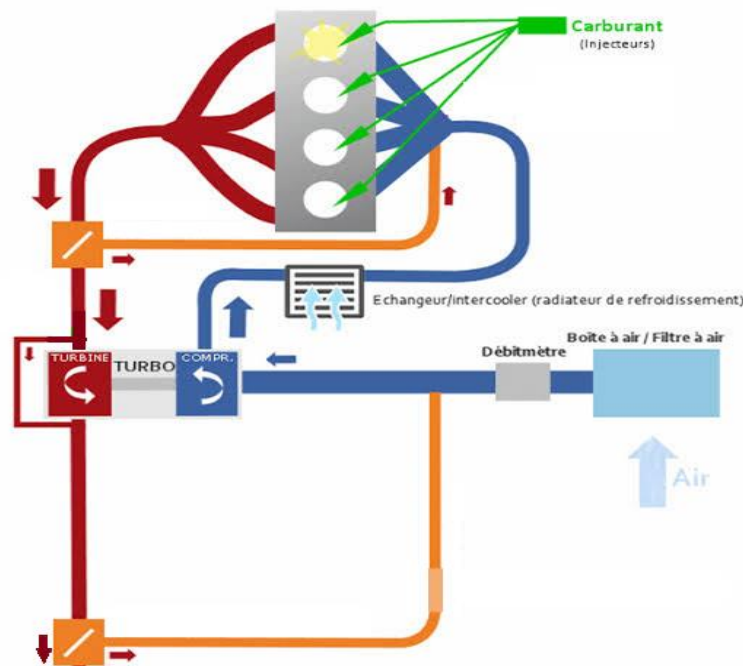


Figure IV.13 : Système d'air d'admission et d'échappement [33].

IV.3.5.6 Système de démarrage :

Dans le système démarrage pneumatique l'air passe par un compresseur d'air pour entrer dans le cylindre ou il se comprime, cette compression de l'air crée une force qui pousse le piston vers le bas. Une fois que le moteur a atteint une vitesse de rotation suffisante grâce à la compression de l'air, le système d'injection de carburant entre en action. Le carburant est pulvérisé dans les cylindres, où il s'enflamme à cause de la chaleur générée par la compression de l'air.

IV.3.6 les capteurs utilisés dans le moteur Caterpillar

IV.3.6.1 Capteur de pression d'admission :

Ce capteur est situé près de collecteur d'admission, il est conçu pour mesurer la pression d'air dans le système d'admission du moteur, ces informations sont utilisées pour ajuster le mélange air et carburant pour optimiser les performances et l'efficacité du moteur.



Figure IV.18 : Capteur de pression d'admission [34].

IV.3.6.2 Capteur de température d'air d'admission :

Ce capteur est situé près de collecteur d'admission, il est conçu pour mesurer la température d'air d'admission entrant dans le moteur.



Figure IV.15 : Capteur de température d'air d'admission [34].

IV.3.6.3 Capteur de pression d'huile :

Ce capteur est situé dans le bloc moteur dans le système de lubrification près du carter, il est conçu pour mesurer la pression d'huile de lubrification, en cas de pression d'huile insuffisante le système d'éclanche un investissement ou l'arrêt du moteur pour le protéger contre les dommages.



Figure IV.16 : Capteur de pression d'huile [34].

IV.3.6.4 Capteur de pression de gasoil :

Ce capteur est situé sur les rails de carburant, il est conçu pour surveiller et réguler la pression de gasoil qu'il faut y avoir dans les cylindres, afin d'assurer le bon fonctionnement du moteur.



Figure IV.17 : Capteur de pression de gasoil [34].

IV.3.6.5 Capteur de température de liquide de refroidissement :

Dans le système de refroidissement il y a plusieurs capteurs de température de liquide, qui sont situés sur le radiateur, boîtier de thermostat et la canalisation du liquide, afin de surveiller la température du système de refroidissement et éviter la surchauffe du moteur.

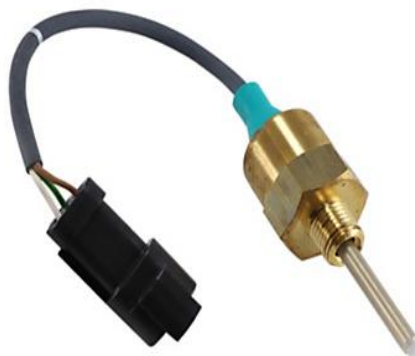


Figure IV.18 : Capteur de liquide de refroidissement [4].

IV.3.6.6 Capteur PMH :

Aussi appelé capteur de vilebrequin a pour rôle d'informer le calculateur sur la position des pistons pour que ce dernier puisse calculer le régime du moteur et adapter en fonction l'injection du carburant.

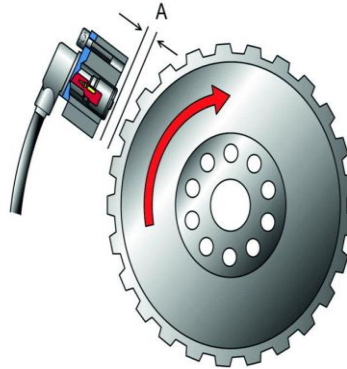


Figure IV.19 : Capteur PMH [4].

IV.3.6.7 Capteur d'arbre à came :

Ce capteur est situé près de l'arbre à came, c'est un capteur de position comme celui du vilebrequin, il mesure la vitesse de rotation d'arbre à came.

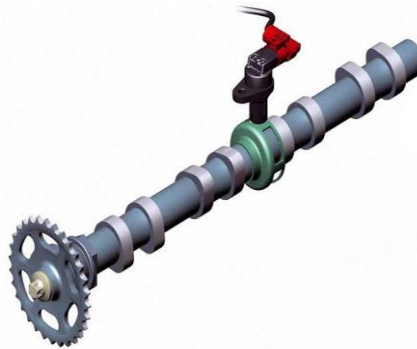


Figure IV.20 : Capteur d'arbre à came [4].

IV.3.6.8 Capteur RPM :

Ce capteur est situé au près des élément rotatif tels que le vilebrequin, l'arbre à came et le volant moteur, dont il mesure la vitesse de rotation, cette information est utilisée pour surveiller le régime moteur.















Figure IV.21 : Capteur RPM [4].

• **Tableau d'affichage :**

C'est un écran de contrôle de toutes les variations des paramètres qui affectent les performances du moteur. Il détermine facilement les problèmes du moteur, à l'aide des capteurs utilisés :

Tableau IV.2 : Tableau d'affichage [1].

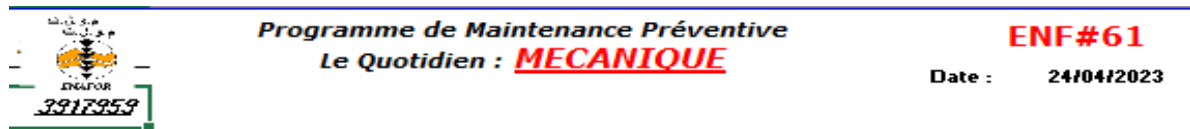
 Cette jauge indique la pression d'huile du moteur.	 Cette jauge indique la température du liquide de refroidissement
 Cette jauge indique la pression de carburant à la pompe d'injection de carburant et au filtre à carburant	 Cette jauge indique la température des gaz d'échappement à l'entrée du turbocompresseur.
 Cette jauge indique la différence de pression de carburant entre l'entrée et la sortie du filtre carburant.	 Cette jauge indique la différence de pression entre l'entrée et la sortie des filtres d'huile du moteur.
 Cette jauge indique la pression d'air (pression de turbocompresseur) dans le collecteur d'entrée d'air après le post-refroidisseur.	 Cette jauge indique la température du liquide de refroidissement après le refroidissement.
 Cette jauge indique la température de l'air à l'entrée du collecteur aux cylindres.	 Cette jauge indique la température d'huile du moteur après sa sortie du refroidisseur d'huile.
 Cette jauge indique la différence de pression d'air entre l'entrée de filtre et l'entrée du turbocompresseur.	 Ce compteur indique les heures de fonctionnement du moteur.

IV.3 La maintenance du moteur Caterpillar 3512

Pendant la période de notre stage on a constaté qu'ils font deux types de maintenance :

IV.3.1 Programme de la maintenance préventive

- Tous les jours :



MOTEURS DIESEL CATERPILLAR (RIG)	CAT#01	CAT#02	CAT#03	CAT#04	Emergency
	ZE-03	ZE-05	ZE-05	ZE-03	ZE-03
1 Relever Lecture compteur Hre					
2 Relever/Contrôle T° d'eau °C					
3 Relever/Contrôle T° Air Admission °C					
4 Relever/Contrôle T° Echap. Droite °C					
5 Relever/Contrôle T° Echap. Gauche °C					
6 Relever/Contrôle Pression d'huile Psi					
7 Relever/Contrôle Température d'huile °C					
8 Relever/Contrôle Pres. diff. filtre Huile Psi					
9 Relever/Contrôle Pression Gaz-oil Psi					
10 Contrôler/Relever Pres. diff. filtre Gasoil Psi					
11 Relever Consommation d'huile (L)					
12 Contrôler les fuites et la vibration					
13 Contrôler niveau d'eau Radiateur					
14 Contrôler niveau d'huile moteur					
15 Contrôler niveau d'huile démarreur					
16 Contrôler la restriction des filtres à air					

Figure IV.22 : programme de maintenance préventive à faire chaque jour [1].

- **Toutes les 250 heures de services :**
 - Contrôle de Courroies de ventilateur.
 - Contrôle de Compresseur d'air.
 - Vidange de l'huile de carte et changé les filtres d'huile.
 - Contrôle d'additifs pour circuit de refroidissement.
 - Nettoyage radiateur.
- **Toutes les 2000 heures de service :**
 - Contrôle d'amortisseur de vibration vilebrequin.
 - Contrôle du Turbocompresseur.
 - Contrôle de Jeux des soupapes du moteur.
 - Contrôle Injecteur de carburant.
- **Toutes les 3000 heures de service :**
 - Vidange, nettoyage et remplissage du circuit de refroidissement.

- Circuit de carburant : remplacer le filtre secondaire et nettoyage.
- Contrôle ou remplacement du filtre primaire.
- Changement du filtre à air.
- **Toutes les 4000 heures de service :**
 - Changement de courroie de distribution.
 - Remplacement des thermostats dans le circuit de refroidissement.
 - Contrôler les hélices du ventilateur.
- **Toutes les 6000 heures de service :**
 - Contrôle de Capteur de vitesse.
 - Contrôle du démarreur pneumatique.
 - Contrôle de la pompe à eau.
 - Contrôle des organes mobiles du moteur [1].

IV.3.2 Programme de la maintenance curative

Selon l'entreprise nationale de forage ENAFOR la maintenance curative se fait sur deux lieux selon la complication de la panne du moteur, donc soit sur chantier soit sur atelier :

IV.3.2.1 Les réparations sur chantier :

Sur le chantier il y a un planning de révision et de réparation périodique à suivre, donc le chef mécanicien transmet ce dernier au mécanicien de chantier. Le mécanicien exécute les ordres en réalisant toutes les opérations nécessaires. Par la suite, ils établissent un rapport de vérification en exprimant l'état générale du moteur, pour pouvoir prendre une décision de réparation sur chantier ou sur atelier.

On va voir ci-dessous les pannes, leurs causes et comment les réparer sur le chantier :

Tableau IV.3 : Les pannes à réparer sur le chantier.

Les pannes	Leurs causes	Comment les réparer
Problème de démarrage	<ul style="list-style-type: none"> -Pression d'air insuffisante. -Filtre à air obstrué à cause de l'accumulation du sable. -Présence d'air dans le circuit d'alimentation. -Injecteur défectueux. 	<ul style="list-style-type: none"> -Vérifier les compresseurs d'air. -remplacer ou nettoyer le filtre à air. -Purger le circuit d'alimentation. -Remplacer l'injecteur pour assurer le démarrage rapide. -Nettoyer le filtre à gas-oil.

	<ul style="list-style-type: none"> -Filtres à gas-oil colmaté -Pression du gas-oil insuffisante. 	<ul style="list-style-type: none"> -Vérifier la pompe a gas-oil puis changer si nécessaire.
Fumé	<ul style="list-style-type: none"> -carburant de mauvaise qualité - Pompe d'injection déréglée - Compression insuffisante - Filtre à air colmaté 	<ul style="list-style-type: none"> -Vidangez le réservoir, utilisez un carburant conforme aux exigences du constructeur -Faites contrôler la pompe par un centre agréé -Contrôlez l'état des soupapes, de la segmentation, du joint de culasse -Changez la cartouche du filtre à air
Surchauffe	<ul style="list-style-type: none"> -Vanne d'eau fermée -Chambres d'eau colmatées -Thermostat défectueux -Pompe de circulation défectueuse. -Courroie de pompe à eau détendue ou cassée. -Niveau d'eau dans le radiateur trop bas. -Prise d'air dans le circuit refroidissement. -Mauvais graissage du moteur. -Charge excessive sur le moteur. 	<ul style="list-style-type: none"> -Ouvrer la vanne d'eau. -Nettoyez le bloc, détartrez les chambres d'eau -Remplacer le thermostat. -Remplacer la pompe de circulation. -Changez la courroie de circulation. -Purgé le circuit de refroidissement. -Lubrifier le moteur. -Minimisé les charges sur le moteur.
Bruit anormaux	<ul style="list-style-type: none"> -un jeu de soupape mal ajustée - une fuite d'huile ou un manque de lubrification -la corroie desserrée, Ussé ou mal ajustée -Problème de de vilebrequin -Paliers de bielle endommager 	<ul style="list-style-type: none"> -Ajuster le jeu de soupape -changez les joints, contrôlez les plans de joints. -serrée ou remplacer la corroie - lubrifier le moteur - remplacer la bielle
La pression de l'huile insuffisant.	<ul style="list-style-type: none"> -Manque d'huile dans le carter. -Pompe d'huile défectueuse -Filtre de l'huile boucher 	<ul style="list-style-type: none"> -Rétablir le niveau huile -Remplacer la pompe à huile

	-Fuite d'huile	-Nettoyer ou remplacer le filtre à huile -Vérifiez l'étanchéité, changez les joints
--	----------------	--

IV.3.2.2 Les réparations sur atelier :

Le chef de chantier signe un ordre de mission et bon de sortie du moteur afin de pouvoir la transmettre à l'atelier et pendant la réception du moteur on mentionne sur la fiche de suivi la date d'entrée et l'état du moteur. Les mécaniciens dans l'atelier procèdent donc au nettoyage extérieur et au démontage du moteur. Toutes les pièces sont bien nettoyées et contrôlées soigneusement, afin de juger celles à rebuter, ou à remplacer par d'autres neuves, ou bien à réparer. Toutes les pièces d'usure de la partie mécanique sont remplacées par d'autres neuves (joints d'étanchéité, soupape, piston, pompe à eau ; thermostat, chemises, etc...), ces pièces sont fournies par le magasin des pièces de rechange, après la prise d'accord du chef d'atelier par un bon de réquisition des matériels. Après le remontage et avant la livraison du moteur vers le chantier le chef d'atelier, doit mentionner toutes les réparations réalisées, les pièces rechangées et les coûts de réparations réalisées et la date de sortie du moteur sur la fiche technique de suivi du moteur [1].

Les opérations réalisées sur l'atelier sont les suivantes :

- **Nettoyage :**
 - Les filtre.
 - Carter.
 - Faisceau de refroidisseur d'admission.
- **Contrôle :**
 - Radiateur.
 - Arbre à cames.
 - Bloc cylindre.
 - Amortisseur de vibration du vilebrequin.
 - Volant moteur.
 - Pignons avant.

- Pignons arrière.
- Culbuteurs.
- Bielles.
- Poussoirs d'arbre à cames.
- **Essaie :**
 - Les canalisations de l'huile, d'eau et gas-oil.
 - Moteur après remontage.
- **Remplacement :**
 - Pompe d'amorçage de carburant.
 - pompe d'alimentation en carburant.
 - Faisceaux de refroidisseur d'huile.
 - Axes de pistons.
 - Vilebrequin.
 - Chemises de cylindres.
 - Support du moteur.
 - Palier d'arbre à cames.
 - Coussinets de bielle.
 - Bagues d'étanchéité de vilebrequin.
 - Plaques de butée de vilebrequin.
 - Pompe à eau.
 - Coussinets de ligne.
 - Segments de piston.
 - Joints et soufflets de collecteur d'échappement.
 - Joints et garnitures de collecteur d'admission d'air.
 - Soupapes de régulation de pression de carburant.

- Pistons.
- Les injecteurs.
- **Rénovation :**
 - Collecteur d'échappement et d'admission.
 - Turbocompresseur.
 - Ensemble des culasses.

IV.3.3 Organigramme des étapes de réparation du moteur

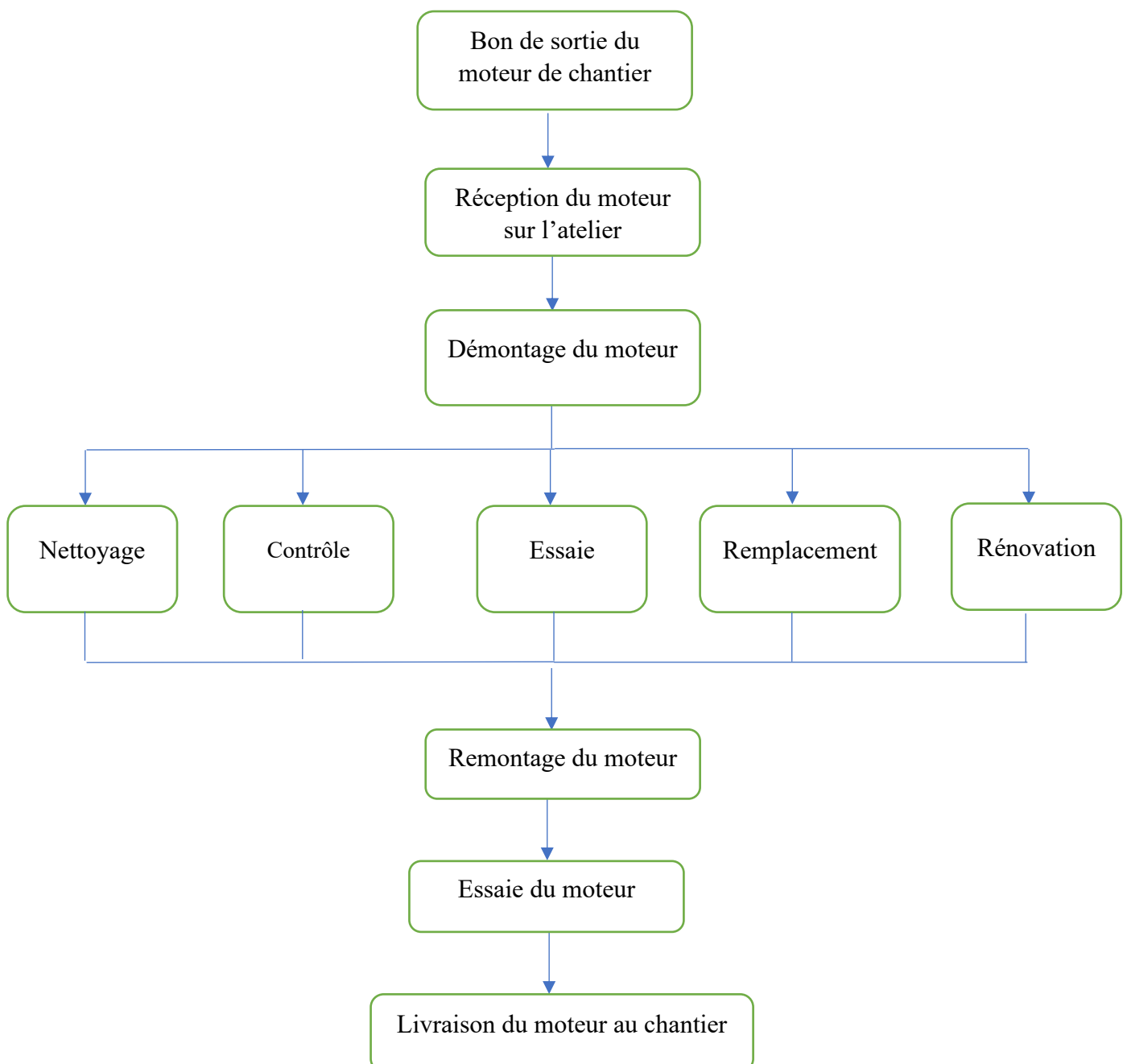


Figure IV.23 : Organigramme des étapes de réparation du moteur.

IV.4 Conclusion

En conclusion, le moteur Caterpillar est un moteur puissant et fiable. Sa conception en V et 12 cylindres, et toutes ces caractéristiques en font un choix populaire pour ceux qui ont besoin d'une puissance robuste.

Ce moteur est fait pour fonctionner dans des conditions extrêmes et de longue période, et pour sa longévité, l'ENAFOR utilise de types de maintenance, préventive et curative qu'on a montré dans ce chapitre.

**Chapitre V : application des
méthodes de maintenance sur le
moteur Caterpillar 3512**

V.1 Introduction

Pour planifier, organiser et exécuter les tâches de maintenance de manière efficace, il y a plusieurs méthodes de maintenance à utiliser, elles sont conçues pour maximiser la disponibilité des actifs, minimiser les temps d'arrêt non planifiés et optimiser les coûts de maintenance.

Dans notre travail on a consacré ce dernier chapitre pour appliquer plusieurs méthodes de maintenance, donc nous avons fait appel en premier à la méthode AMDEC qui est l'analyse des modes de défaillance, de leur effet et de leur criticité, on applique aussi la méthode d'ISHIKAWA qu'on appelle aussi la méthode des 5M pour rechercher et à représenter les différentes causes possibles d'un problème et on a fait la méthode de Pareto qui est l'analyse ABC pour essayer de minimiser les temps d'arrêt et les pannes critiques.

V.2 Application méthode AMDEC sur moteur Caterpillar 3512

Application de la méthode AMDEC sur les organes mobiles et fixes :

Analyse fonctionnelle		Analyse de défaillance			Estimation de criticité				Mesures
Composant	Fonction	Mode	Cause	Effet	G	O	D	Ic	Mesures envisagées
Culbuteur	Permet le mouvement d'ouverture et de la fermeture des soupapes	Dérégler	Manque de lubrification	Bruit de claquement Perte de puissance moteur	3	1	2	6	Régler et lubrifier
Soupape	Transmet l'air d'admission et rejet des gaz	Coincement Blocage	Dérégler	Fumer noir Bruit anormaux	3	1	2	6	Régler
Coussinet	Déminue le frottement entre le vilebrequin et la bielle	Usure	Résidus d'huile	Bruits anormaux	5	1	4	20	Remplacer et vérifier le circuit d'huile
Vilebrequin	Recevoir les efforts de la bielle	Usure des palier	Vibrations excessives	Bruit anormaux	5	1	4	20	Régler le jeu des paliers

Bielle	Transmet au vilebrequin les efforts reçus des pistons	Rupture, détérioration	Vibration excessive de vilebrequin Manque lubrification	Baisse de la performance du moteur Bruit anormaux	5	1	3	15	Remplacer Lubrifier
Piston	Assure la compression des gaz	Usure des segments	Contamination d'huile par des impuretés	Diminution de compression Consommation d'huile excessive	3	1	2	6	Changer les segments du piston
Culasse	Ferme la chambre de combustion et les cylindres	Fissurer Joint de culasse défectueux	Pression excessive dans la chambre a cambutions Surchauffe	Perte de compression du coup performance réduite Fuite l'huile	5	1	4	20	Changer la culasse et les joints de culasse
Joint de culasse	Ferme la culasse	Défectueux	Surchauffe	Fuite d'huile	5	1	4	20	Remplacer
Arbre à came	Permet de réguler l'ouverture et la fermeture des soupapes	User ou casser	Vieillesse	Bruit et mauvais fonctionnement des soupapes	5	1	4	20	Réglage de jeu
Courroie distribution	Transmet le mouvement de	Courroie usé	La friction contre les éléments du bloc moteur dont elle	Bruit et vibration	5	2	4	40	Changement

	vilebrequin à l'arbre a cam		assure la synchronisation						
--	-----------------------------	--	---------------------------	--	--	--	--	--	--

Tableau V.1 : Application de la méthode AMDEC sur les organes mobiles et fixes.

Application de la méthode AMDEC sur le circuit de refroidissement et d'air :									
Analyse fonctionnelle		Analyse de défaillance			Estimation de criticité				Mesures
Composant	Fonction	Mode	Cause	Effet	G	O	D	I _C	Mesures envisagées
Thermostat	Réguler la température d'eau	Bloqué en position fermée ou ouverte	Mauvais liquide de refroidissement Qualité inferieur de thermostat	Surchauffe du moteur Baisse de température	4	2	4	32	Changer
Pompe à eau	Refouler l'eau de refroidissement sous pression	Une fuite de liquide de refroidissement Obstruction du circuit d'eau avec de calcaire ou impureté	Usure Mauvais liquide de refroidissement	Débit insuffisant Le moteur chauffe	4	1	4	32	Remplacer

Ventilateur	Il diminue la température lorsque le moteur atteint des températures élevée	Ventilateur ne s'active pas	Problème mécanique comme hélices endommagées	Surchauffe du moteur	3	2	3	18	Remplacer les hélices
Radiateur	Permet au liquide de refroidissement de rester à la bonne température	Fuite Corrosion	L'usure Obstruction avec impur	Perte de liquide de refroidissement Surchauffe de moteur	4	2	4	32	Remplacer Nettoyage
Canalisation d'eau	Assure la surculation de l'eau à travers le moteur	Colmatage Fuite	Présence d'impuretés, Raccord desserré	Perte d'eau de refroidissement du coup surchauffe	3	2	3	16	Nettoyer, serré le raccord
Turbocompresseur	Augmente la quantité d'air entrant dans les cylindres	Se lâche	Cause des débris d'air	Baisse de puissance Fumé bleu	3	1	4	12	Remplacer les filtres à air Nettoyer avec un produit
Filtre à air	Il retient les impuretés indésirables dans l'air	Colmaté	Présence d'impureté diverses	Moteur ne démarre pas	2	3	2	12	Nettoyage et changement

Tableau V.2 : Application de la méthode AMDEC sur le circuit de refroidissement et d'air.

Application de la méthode AMDEC sur le circuit d'huile et gasoil :									
Analyse fonctionnelle		Analyse de défaillance			Estimation de criticité				Mesures
Composant	Fonction	Mode	Cause	Effet	G	O	D	I _c	Mesures envisagées
Pompe à huile	Pompe l'huile sous pression	Fonctionnement irrégulier	Trop usagé	Pression d'huile insuffisante	5	1	4	20	Remplacer
Filtre d'huile	Retenir les particules présentes dans l'huile	Colmaté	Accumulation des impuretés	Mauvais filtrage	2	3	2	12	Nettoyage ou remplacement
Canalisation d'huile	Conduit l'huile vers les points à lubrifier	Fuite externe	Vis desserré par vibration	Perte d'huile, manque de lubrification	3	1	4	12	Serrer les vis
Canalisation de gasoil	Conduit le gasoil jusqu'à la chambre de combustion	Prise d'air	Mauvais changement du filtre à gasoil	Moteur démarre puis s'arrête	3	1	4	12	Purger, changer les filtres à gasoil

Injecteur	Pulvérise le gasoil à haute pression dans la chambre à combustion	Fonctionnement irrégulier	Se bouche avec le temps à cause de saleté de carburant	Problème de démarrage Fumé noir	3	1	4	12	Nettoyer ou changer
Pompe d'injection	Distribue le carburant pour chaque injecteur	Fonctionnement irrégulier	Déréglage au niveau de pression Filtre de carburant colmaté	Problème de démarrage Perte de puissance Fumé noir	3	2	1	6	Nettoyer ou changer
Filtre à gasoil	Retenir les impuretés afin de protéger la pompe	Colmatage	Présence d'impureté diverses	Réduction de puissance Démarrage difficile	2	3	2	12	Nettoyage et changement

Tableau V.3 : Application de la méthode AMDEC sur le circuit d'huile et gasoil.

V.2.1 Estimation de temps d'intervention par rapport au pannes précédentes

Tableau V.4 : Le temps d'intervention pour chaque élément.

Les composants	100h	500h	3000h	4000h	6000h
Les culbuteurs					X
Soupape					X
Coussinet					X
Vilebrequin					X
Bielle					X
Piston					X
Culasse					X
Joint de culasse					X
Arbre à came					X
Courroie distribution				X	
Thermostat				X	
Pompe à eau					X
Ventilateur				X	
Radiateur				X	
Canalisation d'eau				X	
Turbocompresseur					X
Filtre à air			X		
Pompe à huile					X
Canalisation d'huile				X	
Filtre à huile			X		
Canalisation de gasoil					X
Injecteur					X
Pompe d'injection				X	
Filtre à gasoil			X		

V.2.1 Explication de la fiche AMDEC

a. Les organes mobiles et fixes :

- **Les culbuteurs :**

Un culbuteur est une pièce mécanique qui permet le mouvement d'ouverture et de la fermeture des soupapes, dans notre cas le culbuteur est entrain de claquer dans le moteur, ce qui fait un bruit de claquement et une perte de puissance du moteur, donc il doit être réglé au plus vite possible ou changé s'il est en très mauvais état.

Pour le réglage du culbuteur il faut d'abord que le moteur soit à l'arrêt complet et qu'il refroidisse car il y a un risque de brûlures, puis nous avons besoin d'une clé pour desserrer l'écrou de réglage du culbuteur, on place une jauge d'épaisseur entre la came du culbuteur et la soupape d'admission ou d'échappement pour mesurer le jeu actuel, on ajuste le jeu en tournant l'écrou de réglage du culbuteur dans le sens des aiguilles d'une montre pour réduire le jeu ou dans le sens inverse des aiguilles d'une montre pour l'augmenter. On vérifie à nouveau le jeu à l'aide de la jauge d'épaisseur pour s'assurer qu'il est conforme aux spécifications du fabricant. Enfin on va serrer l'écrou de réglage du culbuteur tout en maintenant l'écrou de blocage pour éviter tout desserrage involontaire. On répète les mêmes étapes pour les autres culbuteurs du moteur.



Figure V.1 : Réglage culbuteur [1].

- **Les soupapes :**

Les soupapes sont des pièces qui assurent l'admission et rejettent les gaz. Les soupapes peuvent se coincer ce qui provoque un bruit anormal et une fumée noire. Pour chaque soupape, on utilise une clé appropriée pour ajuster la vis de réglage située sur le sommet du poussoir pour réduire ou augmenter le jeu. De la même manière pour les culbuteurs, on utilise un jeu de cales pour mesurer le jeu actuel, puis

on ajuste la vis de réglage jusqu'à ce que le jeu soit égal à la spécification requise. On répète les mêmes étapes pour chaque soupape à régler.



Figure V.2 : réglage de jeu et les cales [1].

- **Les coussinets :**

Ces organes permettent de déminer le frottement entre le vilebrequin et la bielle. Ces coussinets s'usent à cause des résidus d'huile, ce qui génère des bruits anormaux dans le moteur. Pour régler ce problème il faut d'abord vérifier le circuit d'huile et changer les filtres pour que l'huile soit sans impuretés, après on remplace les coussinets usés par d'autres neufs.



Figure V.3 : coussinet usé [19].

- **Le vilebrequin :**

Le vilebrequin reçoit les efforts de la bielle, dans notre cas les vibrations excessives cause une défaillance des paliers du vilebrequin, ce qui fait des bruits anormaux dans le moteur, pour régler ce problème, il faut d'abord démonter les composants du moteur qui donnent accès au vilebrequin puis le retirer du bloc

moteur. Avec un micromètre en mesure le jeu de palier, s'il est hors des spécification, des cales d'épaisseur peuvent être utilisées pour ajuster le jeu.

Une fois le réglage a été effectuer on doit vérifier à nouveau avec le micromètre le jeu de palier pour s'assurer qu'il est maintenant dans les spécifications recommandées, une fois toute est régler on fait le remontage de vilebrequin.



Figure V.4 : Mesure le jeu de palier [1].

- **La bielle :**

Elle transmet au vilebrequin les efforts reçus des pistons, les vibrations excessives du vilebrequin et le manque de lubrification peuvent causer une rupture et de détérioration de la bielle ce qui fait une baisse des performances du moteur et engendre des bruits anormaux. Pour régler ces problèmes, tout d'abord il est nécessaire de démonter les composants nécessaires pour arriver jusqu'à la bielle pour remplacer après d'une vérification de circuit de lubrification.



Figure V.5 : Bielle défailante [1].

- **Le piston :**

Le piston assure la compression des gaz. Les segments du piston peuvent avoir des anomalies à cause d'une contamination d'huile avec des impuretés, ce qui engendre la diminution de la compression et une augmentation de la consommation d'huile. Pour éviter ces dommages, il faut d'abord vérifier le circuit d'huile et changer les filtres pour éviter les impuretés.



Figure V.6 : Piston avec segments défectueux [1].

- **La culasse :**

Elle ferme la chambre de combustion. Une culasse peut fissurer à cause d'une pression excessive dans la chambre de combustion comme elle peut avoir des joints défectueux à cause d'une surchauffe, ce qui engendre une perte de compression à cause des fuites présentes dans la culasse et ses joints.



Figure V.7 : Joint de culasse défectueux [1].

- **L'arbre à came :**

L'arbre à cames est conçu pour fonctionner le plus long temp possible, donc le problème qu'on peut rencontrer est un capteur d'arbre à came défectueux, donc il sera difficile de calculer la vitesse de sa rotation, et puis y aura un dérèglement de l'ouverture et la fermeture des soupapes, pour éviter que ça se reproduise il faut changer le capteur et régler l'arbre à cames pour qu'il soit correctement positionner par rapport aux soupapes.



Figure V.8 : Réglage d'arbre à came [1].

- **Courroie distribution :**

Elle transmet le mouvement de vilebrequin à l'arbre à came. La courroie de distribution peut s'user à cause de la friction contre les éléments du bloc moteur dont elle assure la synchronisation (le vilebrequin et l'arbre à came), donc il faut la changer régulièrement avant qu'elle se casse sinon ça va causer des dommages très graves. L'usure de la courroie engendre des bruits et des vibrations dans le moteur.



Figure V.9 : Courroie usée [1].

b. Les circuits de refroidissement et d'air :**• Le thermostat :**

Il est situé dans le système de refroidissement du moteur, son rôle est de réguler la température d'eau. Ce thermostat peut se coincer soit dans la position ouverte ce qui entraîne une circulation constante du liquide, soit dans la position fermée ce qui empêche la circulation du liquide vers le radiateur. Ces anomalies provoquent une baisse de température ou une surchauffe du moteur. Donc il est nécessaire dans ce cas de retirer l'ancien et de mettre un nouveau de bonne qualité.



Figure V.10 : Thermostat coincé en position ouverte [1].

• La pompe à eau :

Elle joue un rôle essentiel dans le moteur, il permet de refouler l'eau de refroidissement sous pression. Cette pompe peut avoir une fuite de liquide de refroidissement à cause d'une usure et une obstruction du circuit d'eau avec de calcaire ou des impuretés à cause de la mauvaise qualité du liquide de refroidissement. Ce qui provoque un débit insuffisant du liquide donc une surchauffe du moteur. Pour régler ce problème soit on nettoie la pompe, soit on procède à son remplacement.

- **Ventilateur :**

Son rôle est de déminuer la température lorsque le moteur atteint des températures élevée. Il se peut que le ventilateur ne s'active pas à cause d'un problème mécanique ou d'hélices endommagées, cela provoque une surchauffe dans le moteur.

- **Radiateur :**

Il permet au liquide de refroidissement de rester à la bonne température. Le radiateur peut avoir une fuite à cause d'une usure ou corrosion et cela provoque une perte de liquide de refroidissement donc une surchauffe du moteur. Pour évite ces problèmes il faut le remplacer puis le nettoyer régulièrement pour éviter des corrosions qui causes ces fuites.

- **Canalisation d'eau :**

Assure la circulation de l'eau à travers le moteur, ces canalisations sont connues pour un problème de colmatage à cause de la présence d'impuretés et des fuites à cause des raccords desserrés. Ce qui provoque une perte d'eau de refroidissement et du coup la surchauffe du moteur. Pour éviter ce problème il faut juste de nettoyer et de serrer les raccords.

- **Turbocompresseur :**

Son rôle est d'augmenter la quantité d'air entrant dans le cylindre pour que le moteur ait une puissance élevée. Cet organe peut se lâcher à cause des débris, ce qui peut causer une baisse de puissance et une fumée bleue. Pour régler ce problème il faut procéder au changement du filtre à air, puis nettoyer le turbocompresseur avec un produit qu'on injecter dans le circuit d'admission, ainsi le produit circule et il nettoie au passage les ailettes du turbocompresseur.

- **Filtre à air :**

Il retient les impuretés indésirables présentes dans l'air. La plupart des filtres rencontre un problème de colmatage à cause de l'accumulation de sable et des saletés, ce qui fais que le moteur perd de sa puissance à cause de la diminution de flux d'air. La solution est de retirer le filtre puis le nettoyer et éliminer les saletés.

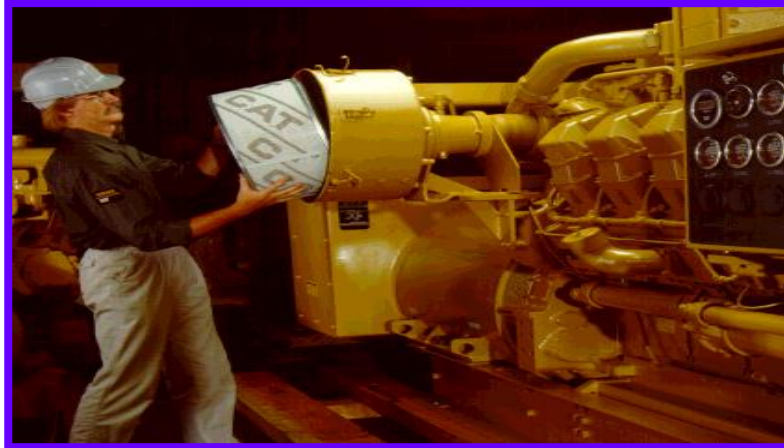


Figure V.11 : Changement des filtres à air [1].

c. Les circuits d'huile et du gasoil :

- **Pompe à l'huile :**

Son rôle est de pomper l'huile sous pression dans toutes les parties du moteur. Un défaut dans le système de régulation de la pression d'huile va engendrer une lubrification insuffisante, ce qui entraîne une friction excessive entre les pièces, une détérioration des surfaces métallique et une surchauffe du moteur. Pour éviter ces dommages il faut procéder au remplacement de la pompe à huile.

- **Filtre à huile :**

Son rôle est de retenir les particules indésirables ou les impuretés présentes dans l'huile. Un filtre colmaté au fil du temps en accumulant les impuretés va faire un mauvais filtrage donc une mauvaise lubrification, et pour régler ce problème il faut remplacer le filtre à huile.



Figure V.12 : Changement des filtres à huile [1].

- **Canalisation d'huile :**

Son rôle est de conduire l'huile jusqu'au pièces à lubrifier. Ces canalisations peuvent avoir des fuites à cause, par exemple, d'une vis desserrer par les vibrations du moteur ce qui engendre une fuite d'huile et par conséquent une mauvaise lubrification et une surchauffe du moteur.

- **Canalisation du gasoil :**

Assure le transport du carburant depuis le réservoir jusqu'à la chambre de combustion. Le système peut avoir une prise d'air donc une présence d'air dans le gasoil ce qui fait que le moteur démarre puis s'arrête. La solution est de purger les canalisations de gasoil en commençant par dévisser la vis de purge d'air, ensuite on réamorce la pompe à gasoil en pressant la poire jusqu'à ce que le gasoil sorte de la vis de purge sans bulle d'air, puis on change les filtres à gasoil.

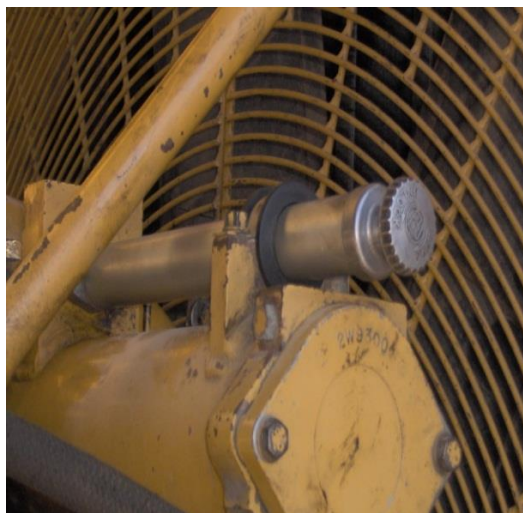


Figure V.13 : Pompe d'amorçage [1].



Figure V.14 : Dévissage la vis de purge d'air

- **Injecteurs :**

Son rôle est de pulvériser le gasoil à haute pression dans la chambre à combustion. Si l'injection n'est pas réalisée avec la bonne pression, bien sûr à cause des saletés que contient le carburant, cela provoque un problème de démarrage et un fumé noir. Pour éviter ce genre de problème il faut un nettoyage régulier avec un changement des filtres à gasoil régulièrement.

- **Pompe d'injection :**

Son rôle est de distribuer le gasoil pour chaque injecteur. Un fonctionnement irrégulier peut arriver à cause d'un dérèglement au niveau de la pression parce que le carburant qui se trouve est sale et contient des impuretés. Pour éviter ce problème il faut changer les filtres à gasoil pour que le carburant soit son impureté et nettoyer la pompe pour qu'elle puisse de nouveau distribuer le gasoil avec la pression idéale.

- **Filtre à gasoil :**

Cet organe retenait les impuretés afin de protéger la pompe à gasoil. Le colmatage est l'un des modes de défaillance les plus fréquents, lorsque le filtre se colmate il devient obstrué par des impuretés ce qui va bloquer la circulation du carburant, donc cela peut entraîner une réduction de la puissance du moteur et un démarrage difficile, et pour régler ce problème il faut qu'on change les filtres à gasoil.

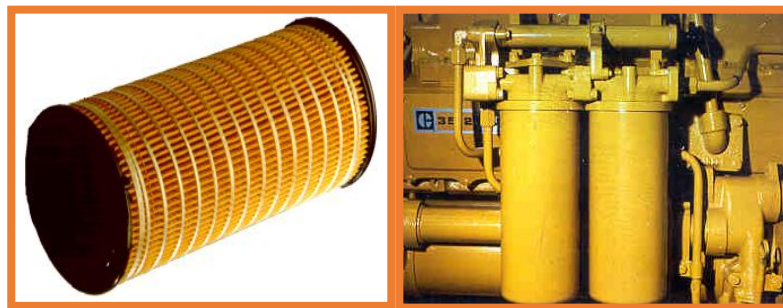


Figure V.15 : Filtre à gasoil et son remplacement [1].

V.3 Application de la méthode des 5M

Nous tentons dans cette partie d'appliquer la méthode d'ISHIKAWA à quelques défaillances les plus courantes. Cette méthode est un outil d'aide à la décision qui permet de régler des dysfonctionnements. L'établissement d'un tel diagramme sur un problème donné n'est pas l'affaire d'une seule personne, c'est un résultat du travail d'un groupe pluridisciplinaire. C'est le résultat d'un brainstorming.

V.3.1 Les causes de problème de démarrage

Le premier problème constaté dans le moteur réside dans le démarrage. Ce problème peut être provoqué par plusieurs anomalies. Un diagnostic approfondi est nécessaire pour cerner le problème. Nous dressons ci-dessous les causes potentielles d'un problème de démarrage.

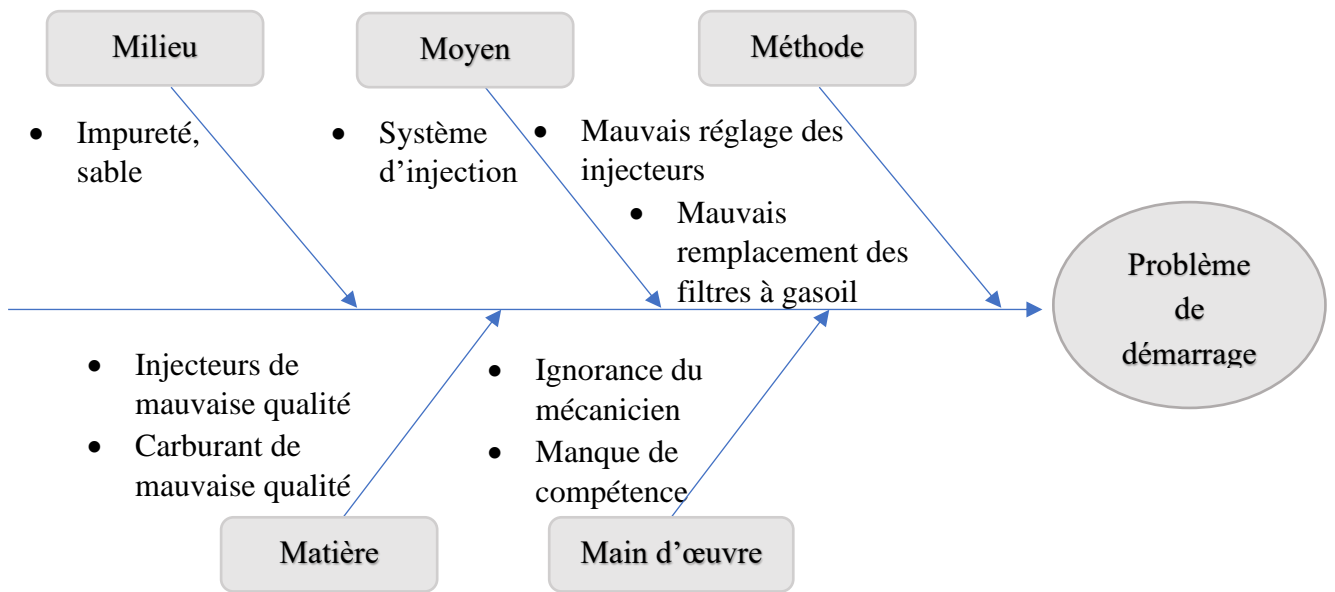


Figure V.16 : Diagramme des 5M problème de démarrage.

V.3.2 Les causes d'une surchauffe moteur

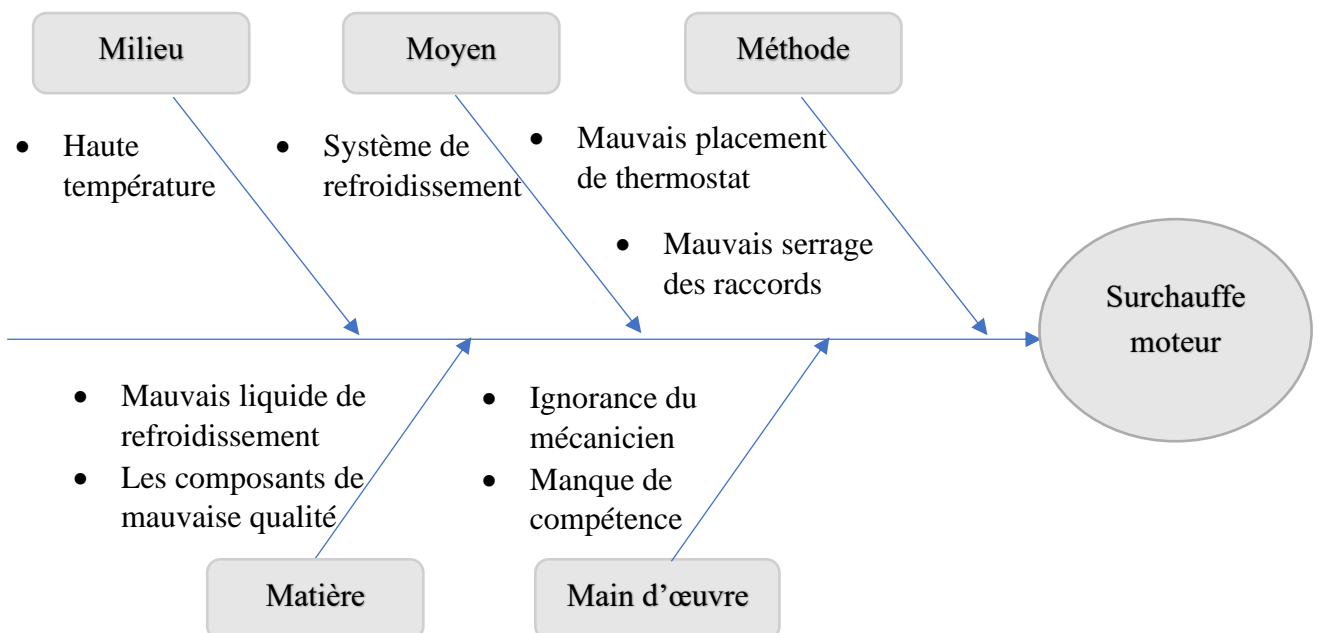


Figure V.17 : Diagramme de 5M surchauffe moteur.

V.3.3 Les causes des bruits anormaux

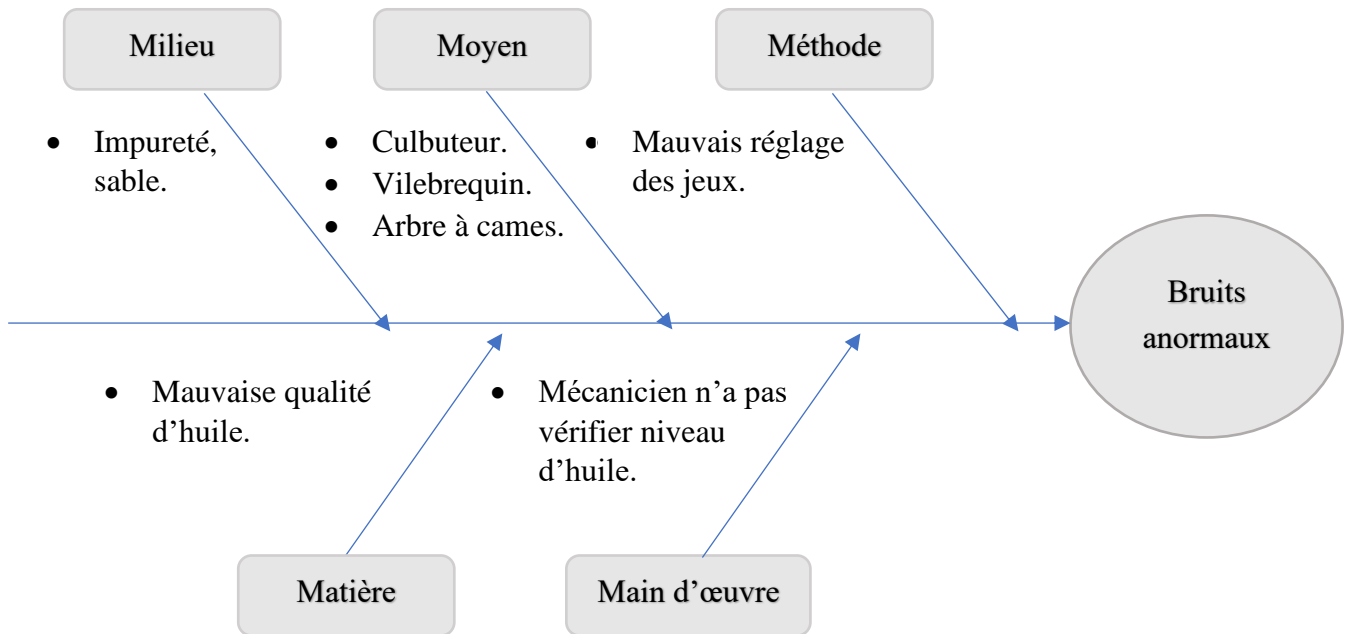


Figure V.18 : Diagramme des 5M bruits anormaux.

V.3.4 Les cause de baisse de performance

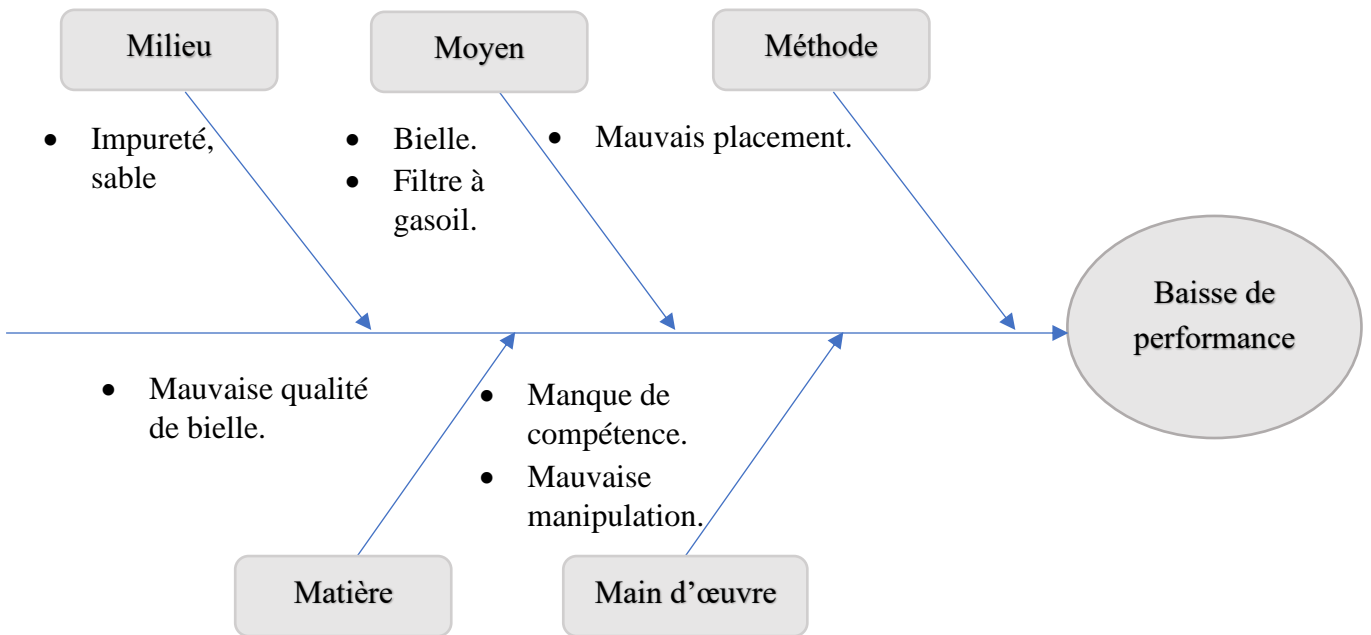


Figure V.19 : diagramme des 5M baisse de performance.

V.3.5 Les causes de fumées

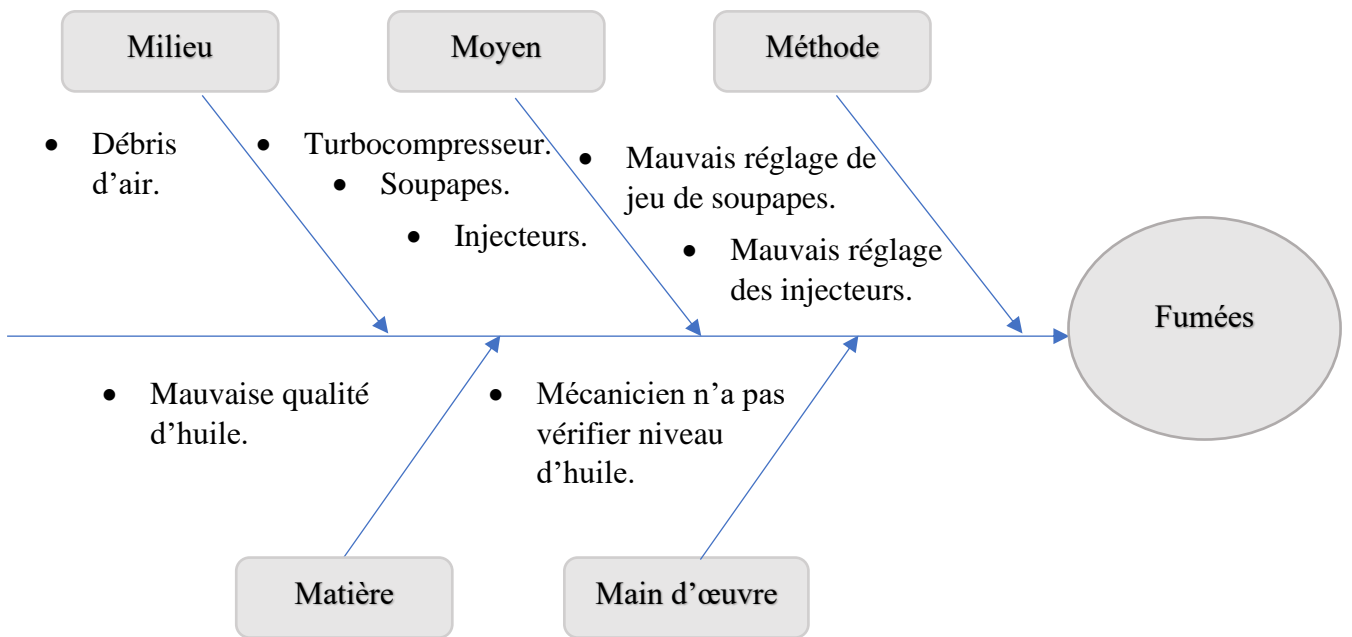


Figure V.20 : Diagramme des 5M fumées.

V.4 La méthode ABC de Pareto

V.4.1 Historique de panne

Voici l'historique des pannes du moteur Caterpillar pour 2ans

- TTR : Les heures d'arrêt suite à des pannes.
- TBF : Les heures de bon fonctionnement.

Tableau V.5 : Historique de panne

TBF(h)	TTR(h)	Pannes	Cause des panne
17436	84	Bruit	Les organes mobiles
17475	45	Surchauffe	Système de refroidissement
17500	20	Baisse de performance	Bielle Filtre à gasoil
17502	18	Fumée	Turbocompresseur Soupape Injecteur
17504	16	Problème de démarrage	Système d'injection

V.4.2 Méthodes d'analyse ABC de Pareto

- L'analyse ABC :

Voici la méthode de Pareto qu'on a appliqué sur le moteur Caterpillar 3512 :

Tableau V.6 : L'analyse ABC.

Les pannes	TTR (h)	TTR accumulé	TTR accumulé (%)	Nbr de pannes	Pannes accumulés	Pannes accumulés (%)
Bruits anormaux	84	84	45,90	3	3	15,79
Surchauffe moteur	45	129	70,49	5	8	42,11
Baisse de performance	20	149	81,42	4	12	63,16
Fumée	18	167	91,26	3	15	78,95
Problème de démarrage	16	183	100	4	19	100

- La courbe ABC :

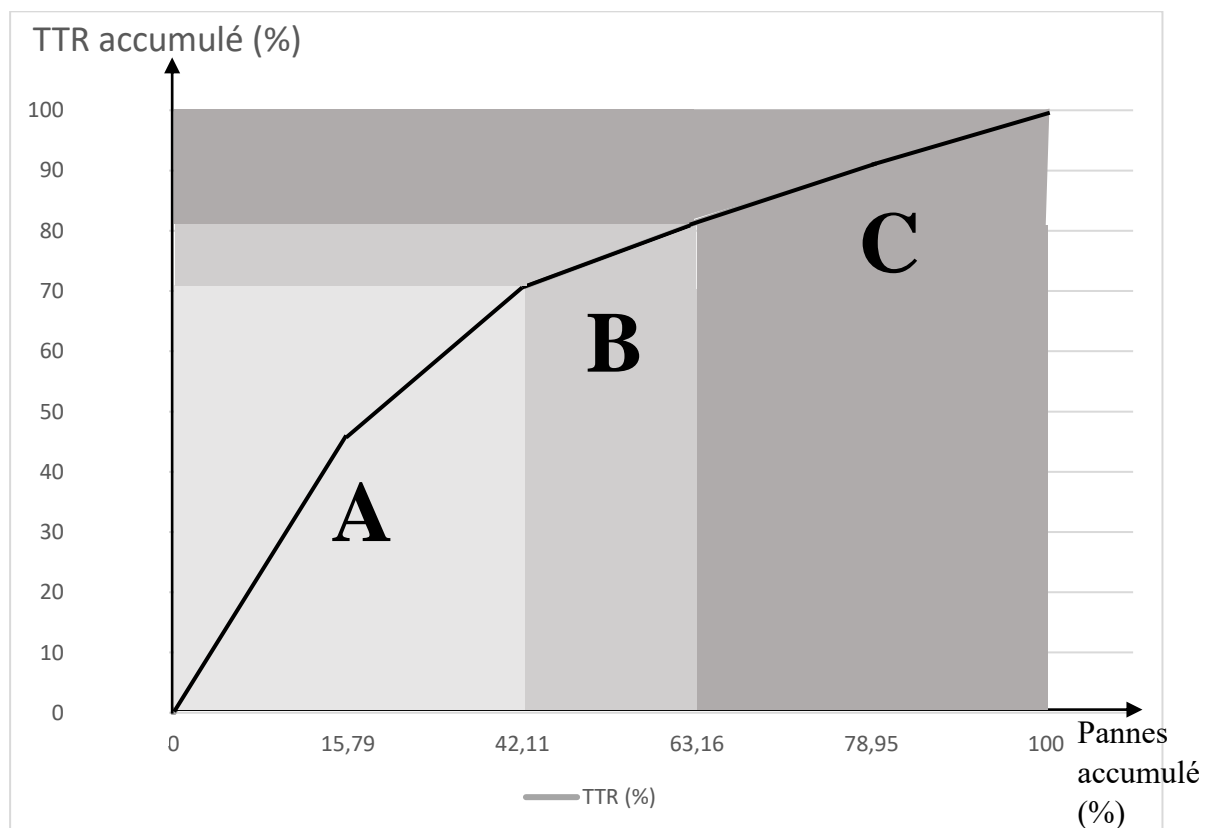


Figure V.21 : la courbe ABC.

- **Zone "A"** : Dans cette zone, on constate qu'environ 42% des pannes représentent 70% des heures de réparation, ceci constitue la zone A, zone des priorités des bruit anormaux qui peut se poser à cause de jeu des organes mobiles ou des claquements entre eux, ce qui peut causer des dommages graves.
- **Zone "B"** : Dans cette tranche les 21% des pannes représentent 10% de temps de la réparation ou des interventions parce que le moteur devient chaud.
- **Zone "C"** : Dans cette zone les 37% des pannes restantes représentent 20% des heures de réparation, on rencontre des pannes comme une baisse de performance, la fumée et des problèmes de démarrage, mais leurs réparations ne prennent pas beaucoup de temps.

V.5 Conclusion

En conclusion, ce chapitre est divisé sur trois parties, chaque partie désigne une méthode de maintenance.

Dans la première partie, on a fait la fiche AMDEC ou nous avons organisé tous les organes du moteur, le mode de leurs défaillances, leurs effets et comment rétablir leurs problèmes.

Dans la deuxième partie, on a fait la méthode des 5M, on présente les pannes du moteur et les causes possibles dans des diagrammes d'ISHIKAWA.

Dans la troisième partie, on applique la méthode de PARETO, l'historique des pannes nous a permis de faire un tableau d'analyse ABC en utilisant le logiciel EXCEL, représenter aussi la courbe ABC et désigner les différentes zones de criticités des pannes du moteur diesel Caterpillar.

Conclusion générale

En conclusion, ce travail nous a permis de connaître le moteur diesel CATERPILLAR 3512, ses caractéristiques et son fonctionnement et sa nécessité dans les stations pétrolières puisqu'il résiste à des conditions difficiles. Nous avons vu aussi pendant la période de notre stage que les techniciens font tout le nécessaire pour garantir le bon fonctionnement du ce moteur, élément indispensable pour le fonctionnement du site.

L'application de la méthode AMDEC permet de faire l'analyse des modes de défaillance, de leur effet et de leur criticité, à évaluer leur gravité et leur probabilité d'occurrence et à déterminer les actions à mettre en place pour prévenir ou réduire les risques identifiés.

L'application de la méthode des 5M permet d'identifier toutes les causes possibles de n'importe quelle panne, en représentant ces causes à effet sur des diagrammes d'ISHIKAWA.

L'application de la méthode ABC de Pareto permet de déceler entre plusieurs problèmes, ceux qui doivent être abordés en priorité. La courbe ABC permet donc de distinguer les pannes critique qui prennent plus de temps pour la réparation.

Références bibliographiques :

- [1] Document de l'entreprise.
- [2] <https://www.mcmynes.ca/fr/equipements/details.cfm?ID=39&NoPage=1>
- [3] dreamstime.com
- [4] www.caterpillar.com
- [5] https://fr.made-in-china.com/tag_search_product/Caterpillar-
- [6] <https://www.airless-discounter.de/actualites/rotor-et-stator-moteur/>
- [7] https://www.academia.edu/41440431/Historique_du_moteur_a_combustion
- [8] http://www4.ac-nancy-metz.fr/ciras/cahierdubia/GTR/groupe_turbo_reacteur.html
- [9] <http://www.ikonet.com/fr/ledictionnairevisuel/transport-et-machinerie/transport>
- [10] <https://ivoirelite.net/blog/34-comment-fonctionne-le-moteur-de-votre-voiture>
- [11] <https://auto.toutcomment.com/article/comment-fonctionne-un-moteur-diesel-voiture>
- [12] Dr. A. M. BOUCHOUCHA Généralités sur les moteurs à combustion interne université Mila, 2021/2021
- [13] <https://www.1001pneus.fr/definition-bloc-moteur>
- [14] <https://www.vroomly.com/blog/cylindre-dun-moteur-role-fonctionnement-et-pannes/>
- [15] <https://www.gomecano.com/service/carter-dhuile/>
- [16] <https://club.auto-doc.fr/magazin/la-culasse-du-moteur-definition-fonctions>
- [17] <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.turbosquid.com>
- [18] JEAN HENG 'Pratique de la maintenance préventive' 4^e édition, DUNOD, 2002, 2005, 2011, 2017.
- [19] BARMAKI Abderrahmane, BEN ARIMA Mohammad Elhad, KHELAFAB Abdeslam, Étude et maintenance du moteur CAT 3512, mémoire de fin d'étude, 2016/2017.
- [20] http://elearning.univdjelfa.dz/pluginfile.php/47323/mod_resource/content/1/co/module_dj_aidi

Références bibliographiques

- [21] <https://www.legarrec.com/entreprise/type-maintenance-industrielle/>
- [22] Dr K. DJERRID Cours introduction à la fonction maintenance université DJELFA 2015/2016
- [23] <https://www.danem.fr/fr/categorie-blog/11-maintenance/211-principales-methodes-gestion-maintenance-industrielle>
- [24] François Monchy, Claude Kojchen, maintenance outils, méthodes et organisation pour une meilleure performance, 4ème édition.
- [25] <https://www.appvizer.fr/magazine/operations/gestion-de-projet/5-m-une-gestion-de-projet-sans-problemes>
- [26] FAIGNER H. ORGANISATION DE MAINTENANCE, Promotion 2020/2022.
- [27] Ben Abdallah I, Chabbi A, Mouada A, mémoire fin d'étude master professionnel MCP, Minimisation des pertes d'énergie au niveau d'un moteur CAT 3512 V dans les stations pétrolières, Univ. Ouargla. 2013
- [28] <https://archives.cforp.ca/cforp/apps/tij1osave/tij1o-module3/page43.html>
- [29] <https://www.tu-motors.com/page/24-qu-est-ce-qu-un-systeme-de-distribution>
- [30] <https://metal5.com/2020/01/15/le-circuit-de-refroidissement-explications-techniques-et-conseils-d'entretien/>
- [31] BOUBBEKHA Fethi, BEN AZZA Abed Raouf, étude d'un moteur diesel dans une station pétrolière 2012.
- [32] <https://tpdemain.com/module/le-circuit-de-combustible-de-l'alimentation-dun-moteur-diesel/>
- [33] <https://www.fiches-auto.fr/articles-auto/fonctionnement-d-une-auto/s-1696-l-admission-d-air.php>
- [34] www.amazon.fr

