



**Etude de maintenance de système de remplissage et  
refroidissement de bassin d'eau du banc d'essai de moteur  
thermique**

Présenté et soutenu par :

**Hanen Issaoui**

En vue de l'obtention de

**Mastère professionnelle en management maintenance industrielle**

Sous la Direction de :

**Dr. Imed Miraoui**

Soutenu le 07/06/2023

Devant le jury composé de :

**Président : Mme NAHLA CHABBEH**

**Rapporteur : Mme INES AJMI**

**Rapporteur : Dr. IMED MIRAOU**



## **Dedicace**

Nous dédions ce travail

à ceux que nous aimons le plus,

à nos très chers parents qui ont toujours été là pour nous, et qui nous ont donné de magnifiques modèles de labeur et de persévérance. Nous espérons qu'ils trouveront dans ce travail toutes nos reconnaissances et tout notre

amour.

A nos chères mères, et pères.

A nos familles, les symboles de bonheur et source de tendresse et d'amour

A nos professeurs.

A nos adorables amis.

## **Remerciement**

En premier lieu, nous tenons à remercier Allah, notre créateur pour nous avoir donné la force pour accomplir ce travail.

Nous tenons à remercier Dr Imed Miraoui notre promoteur pour son grand soutien et ses conseils considérables.

Que toute personne ayant participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail accepte nos grands et sincères remerciements..

# Table des matières

<b>Introduction générale .....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre 1 : Présentation de la C.P.G.....</b>	<b>2</b>
Introduction.....	3
I.    Présentation générale de la C.P.G.....	3
1.    Présentation générale.....	3
2.    Historique de la C.P.G.....	4
3.    Organigramme de la C.P.G .....	5
II.    Présentation de secteur Moulars .....	6
1.    Présentation générale.....	6
2.    Organigramme Secteur du Moulars.....	7
Conclusion .....	8
<b>Chapitre 2 : généralité de maintenance industriel.....</b>	<b>9</b>
Introduction.....	10
I.    OBJECTIF DE LA MAINTENANCE .....	10
1.    Objectifs financiers .....	10
2.    Objectifs opérationnels.....	10
II.    Définition de la Maintenance .....	11
1.    Analogie .....	11
2.    Les différents types de maintenance .....	12
3.    Les avantages de la maintenance industrielle .....	12
4.    Les compétences requises pour la maintenance industrielle.....	13
5.    Les outils de la maintenance industrielle .....	15
6.    Les activités de la maintenance .....	16
7.    L'importance de la formation continue en maintenance industrielle.....	17
Conclusion .....	18

<b>Chapitre 3 : Maintenance de moteur thermique CAT 3512 .....</b>	<b>19</b>
Introduction.....	20
I.    Généralités sur le banc d'essais des moteurs thermiques. ....	20
1.    Définition d'un banc d'essais de moteur thermique.....	20
2.    Essais des moteurs thermiques .....	20
3.    Composants du banc d'essais .....	22
4.    Les circuits .....	24
II.   Généralité sur le moteur thermique : .....	27
1.    Historique du moteur thermique .....	27
2.    Définition du moteur thermique CAT 3512 .....	28
3.    Description et principe de fonctionnement : .....	29
III.  Éléments constitutifs d'un moteur diesel .....	31
1.    Les organes fixes : .....	32
2.    Les organes mobiles .....	34
IV.   Etude des circuits et les systèmes.....	36
1.    Système de refroidissement.....	36
2.    Système de lubrification.....	41
3.    Système de carburant .....	43
4.    Les circuits électroniques couramment présents dans les moteurs Caterpillar : .....	44
V.    Maintenance du moteur Caterpillare .....	45
1.    Les niveaux de maintenance .....	45
2.    Les temps de la maintenance.....	49
VI.   Etude de la fiabilité .....	50
1.    Introduction .....	50
2.    Définition .....	50
3.    Intérêt de l'étude de la fiabilité .....	50

4.	Objectifs et intérêt de la fiabilité en maintenance industrie .....	51
5.	La Maintenabilité .....	52
6.	La disponibilité.....	52
VII.	Diagramme causes-effet (ou ISHIKAWA ou en ARETE DE POISSON) .....	54
1.	Caractéristique et démarche de la methode Ishikawa .....	54
VIII.	Etude AMDEC .....	55
1.	Présentation .....	55
2.	Les etapes de amdec .....	55
3.	Types d’AMDEC .....	57
4.	La défaillance .....	57
5.	Mode de défaillance .....	58
6.	Cause de la défaillance .....	58
7.	Effet de la défaillance.....	58
8.	Détection .....	58
9.	Indice de Fréquence « F » .....	58
10.	Indice de Gravité «G ».....	59
11.	Indice de Non Détection « D » .....	59
12.	Criticité « C » .....	59
13.	Démarche Pratique de l’AMDEC.....	60
IX.	Exploitation de l’historique.....	62
1.	Statistique des nombres des pannes de moteur CAT 3512 AU COURS DE 9 ANS D APRE L’HISTORIQUE.....	62
2.	Etude de diagramme de Pareto « ABC (Pareto )».....	63
3.	Recherche des causes racines (Diagramme Ishikawa).....	65
4.	Application AMDEC.....	71
X.	Synthèse de la criticité.....	75

XI.	Plan de maintenance préventive des élément critique :.....	76
XII.	Elaboration du plan de maintenance préventive .....	77
XIII.	RECOMMENDATION.....	77
	Conclusion .....	79
	<b>Conclusion générale .....</b>	<b>80</b>
	<b>Liste bibliographique.....</b>	<b>81</b>



# Liste des figures

Figure 1. 1: Vue extérieur du laverie .....	6
Figure 1. 2: Les ateliers centraux. ....	7
Figure 1. 3: Organigramme Secteur du Moularés.....	7
Figure 3. 1: Schéma descriptif du banc d'essai.....	21
Figure 3. 2: Le frein hydraulique au sein de banc d'essais. ....	22
Figure 3. 3: L'échappement du banc d'essais. ....	23
Figure 3. 4: Le ventilateur du banc d'essais. ....	23
Figure 3. 5: Le support moteur. ....	24
Figure 3. 6: La circuit d'eau du banc d'essais. ....	25
Figure 3. 7: La circuit d'eau de refroidissement. ....	26
Figure 3. 8: La circuit de carburant.....	26
Figure 3. 9: L'adoucisseur au sein du banc d'essais.....	27
Figure 3. 10: Culasse.....	32
Figure 3. 11: Bloc-moteur.....	32
Figure 3. 12: un carter .....	33
Figure 3. 13: Collecteurs d'échappement .....	33
Figure 3. 14: Un piston .....	34
Figure 3. 15: La bielle.....	34
Figure 3. 16: vilebrequin.....	35
Figure 3. 17: volant moteur.....	35
Figure 3. 18: Soupapes et l'arbre à came. ....	36
Figure 3. 19: Temps caractéristiques lors d'une intervention .....	49
Figure 3. 20: diagramme de Pareto .....	64
Figure 3. 21: diagramme cause effet.....	67

# Liste des tableaux

Tableau 1. 1: Identification de la C.P.G.....	3
Tableau 1. 2: Historique de la C.P.G .....	4
Tableau 3. 1: La grille AMDEC .....	59
Tableau 3. 2: Les indices de défaillance .....	60
Tableau 3. 3: Statistique des nombres des pannes de moteur .....	62
Tableau 3. 4: le nombre de pannes accumulees .....	63
Tableau 3. 5: évaluation de la criticite .....	75
Tableau 3. 6: Plan de maintenance recommandé.....	76
Tableau 3. 7: des opérations.....	77

# Introduction générale

Les moteurs thermiques sont très importants dans les véhicules, pour assurer les déplacements d'elles.

L'objectif de cette étude consiste à bien décrire les dégradations (défauts) d'un moteur Caterpillar et de représenter les performances, afin de suivre correctement les méthodes de maintenance.

L'architecture de cette mémoire est présentée par quatre chapitres :

- Le premier chapitre constitue une PRESENTATION DE LA CPG
- Le deuxième chapitre GENERALITE DE LA MANTENANCE INDUSTRIEL
- Le troisième chapitre consiste à notre pratique, qu'illustre les différentes méthodes du maintenance du moteur se compose de :
  - Dans le premier temps, nous avons faire analyse fonctionnelle d'un moteur Caterpillar 3512 . de système du banc d'essais
  - Dans la deuxième temps, nous avons faire un analyse PARETO de notre moteur se basant sur l'historique des pannes ce que nous avons apporté de la société CPG GAFSA Dans troisième temps, nous avons faire une étude les causes et les effets des pannes les plus critiques par la méthode d'ISHIKAWA.
  - Dans la fin on va préparer un plan de la maintenance par application de la méthode AMDEC

---

## **Chapitre 1 : Présentation de la C.P.G**

---

# Chapitre 1 : Présentation de la C.P.G

## Introduction

Dans ce chapitre, on s'intéresse tout d'abord à la présentation de la CPG, ensuite la Présentation de la direction DE SECTEUR Moularès.

## I. Présentation générale de la C.P.G

### 1. Présentation générale

La Campanie de Phosphates de Gafsa set l'une des plus importantes entreprises de la Tunisie sa tâche est de s'occuper de l'extraction et le traitement des gisements du Phosphate situé dans le bassin de Gafsa qui couvre environ 5000 à 6000 Km<sup>2</sup>. La CPG figure parmi les plus importants producteurs de phosphates, occupant la cinquième place mondiale avec une production de presque huit millions de tonnes en 2009, et en 2010, Cette activité nécessite près de dix millions de m<sup>3</sup> d'eau pompée dans les nappes fossiles et engendre le déversement d'eau de lavage dans la nature, causant la colère des agriculteurs et des écologistes.

Tableau 1. 1: Identification de la C.P.G

Compagnie des Phosphates de Gafsa	
Date de création	1897
Domaine d'activité	Extraction et production du phosphate
Capital	268 Millions Dinars
Effectif	6469
Nombre de cadres supérieurs	385
Siège Social	Cité Bayech - 2100 - Gafsa- Tunisie
Capacité de production	8 Millions de tonnes
Production 2015	3,5 Millions de tonnes
Rang mondial de Production	5 <sup>ème</sup>
Sites d'exploitation	Redyef- Molayares- Metlaoui- Mdhila-Gafsa
Nombre de sites d'exploitation	8
Nombre d'unités de production	10

## 2. Historique de la C.P.G

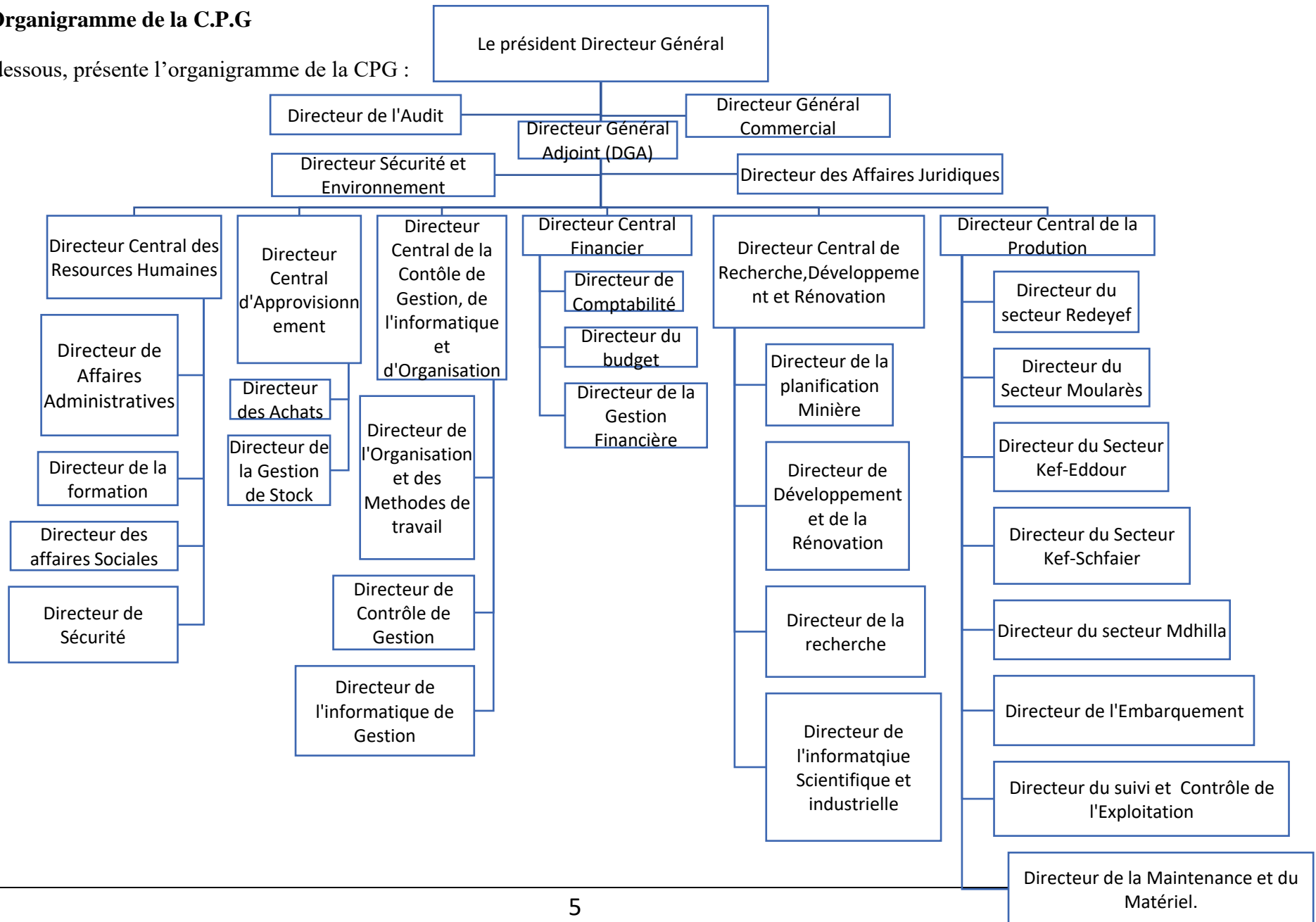
C'était en avril 1885, lors d'une prospection dans la région de Metlaoui, partie occidentale du sud du pays, que Philippe THOMAS, géologue amateur français, a découvert des couches puissantes de phosphates de calcium sur le versant Nord de JEBEL THELJA.

*Tableau 1. 2: Historique de la C.P.G*

<b>1885</b>	Découverte des gisements miniers tunisiens en Sud-Ouest près des montagnes de Métlaoui, par le géologue français Philippe Thomas.
<b>1897</b>	Nomination de la Compagnie des Phosphates de Gafsa et Chemin de Fer Gafsa (CPGCFG) comme premier opérateur des offices miniers en Métlaoui. La première ligne ferroviaire associant Métlaoui au port maritime de Sfax
<b>1899</b>	Ouverture de la première mine souterraine à Métlaoui
<b>1903</b>	Ouverture de la deuxième mine souterraine à Redéyef
<b>1904</b>	Ouverture de la troisième mine souterraine à Moulares
<b>1905</b>	Création de la STEPHOS (Société Tunisienne d'Exploitation Phosphatier)
<b>1920</b>	Ouverture de la mine M'dhilla exploitée par la Compagnie des Phosphates Tunisien
<b>1948</b>	Mise en marche de la Société Filiale Industriel d'Acide Phosphorique et d'Engrais (SIAPE) 1956 1962 1969 1976. 1994 1996 2006 2011
<b>1956</b>	Nationalisation progressive de différentes filiales de la CPGCFG
<b>1962</b>	Capitalisation entièrement tunisienne la Compagnie des Phosphates Tunisien de M'dhilla
<b>1969</b>	Fusion entre la Compagnie des phosphates Tunisien de M'dhilla et la CPGCFG
<b>1976</b>	Fusion entre la STETHOS et la CPGCFG sous la seule nomination de la CPG détenue entièrement par le gouvernement tunisien
<b>1994</b>	Nomination d'un seul directeur général pour la CPG et sa filiale GCT
<b>1996</b>	Fusion en une seule direction commerciale
	Signature d'un partenariat avec deux sociétés indiennes pour lancer une jointventure la Tunisian Indian Fertilizers (TIFERT) dont 70% du capital est détenu par la CPG et le GCT et dont l'activité est la valorisation des engrais phosphatés destinés en grande partie vers l'exportation
<b>2011</b>	Entrée en vigueur du partenariat Tuniso-indien.

### 3. Organigramme de la C.P.G

La figure ci-dessous, présente l'organigramme de la CPG :



## II. Présentation de secteur Moulares

### 1. Présentation générale

La direction de la maintenance et du matériel est un groupement des ateliers où s'exécutent des travaux spéciaux de la CPG, elle s'occupe de matériel et maintenance (électriques et mécanique). Elle réalise des travaux de modification ou d'extension des usines, élabore les cahiers des charges, elle est chargée aussi par la réception et le suivi du matériel.

Une tournée générale dans tous les ateliers nous donne une idée sur le travail dans l'entreprise, on découvre plusieurs travaux (entretien maintenance et fabrication des pièces de différentes formes).



*Figure 1. 1: Vue extérieur du laverie*

Le secteur Moulares répond par ses différentes activités aux demandes de prestation de maintenance et de gestion de matériel exprimé par les unités de production.

Pour assurer la maintenance, la réparation, la révision et le suivi des engins de carrière de manière efficace, la C.P.G a divisé sa flotte en plusieurs familles selon leurs fonctions :

- Engins de Défonçage (Tracteurs à chaîne ou Bulldozers, buls sur pneu...) • Engins de Chargement (Chargeuses, pelles hydrauliques, Pelles sur chenilles...)
- Engins de Transport (Tombereaux rigides de Chantier, Tombereaux articulés de Chantier...) Locomotive (Locomotives de traction...)



- Engins des Travaux Annexes (Niveleuses, Arroseuses, Camions de gasoil, Camions explosifs...)
- Engins de Manutention (Chariots élévateurs...)

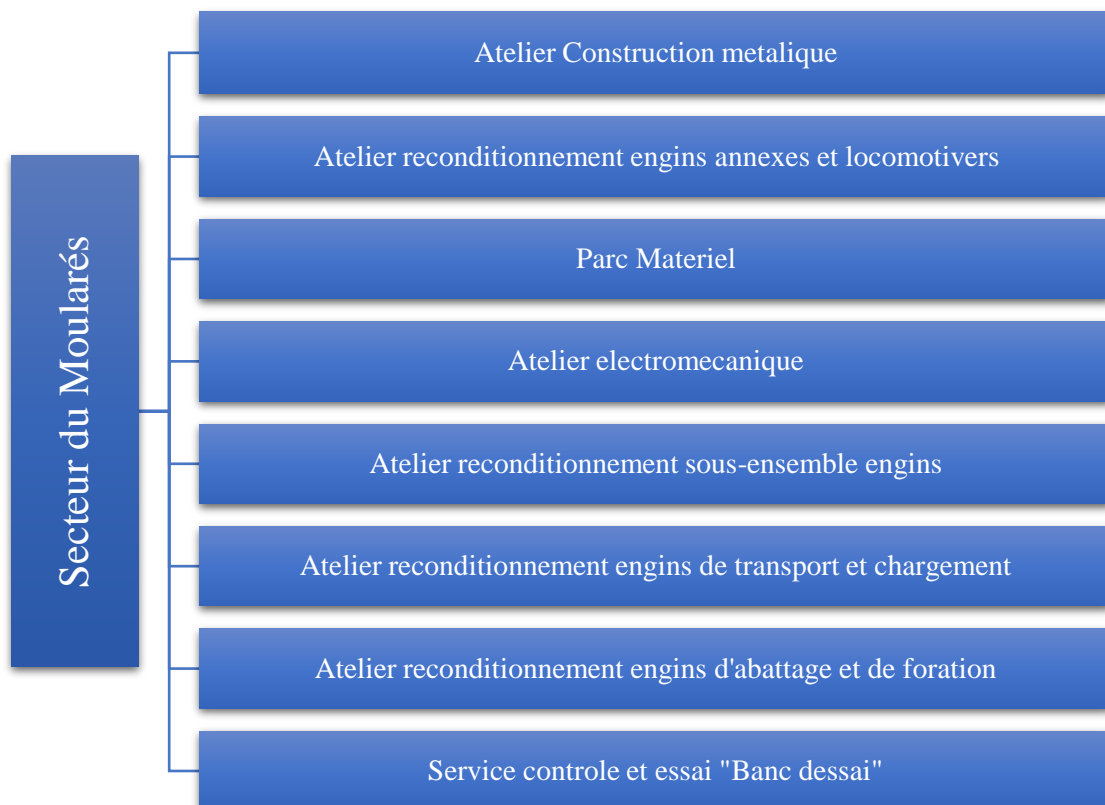
**La répartition et l'organisation des tâches entre les différents ateliers sont assurés selon le type et famille des engins ainsi que leurs sous-ensembles.**



*Figure 1. 2: Les ateliers centraux.*

## **2. Organigramme Secteur du Moularés**

La figure ci-dessous, présente l'organigramme Secteur du Moularés



*Figure 1. 3: Organigramme Secteur du Moularés*

## **Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons présenté la CPG aussi la direction de la maintenance et matériels pour avoir une idée générale sur les différents axes en relation avec notre projet. Nous passons alors au chapitre suivant, dans lequel en va expliquer la problématique.

---

## **Chapitre 2 : généralité de maintenance industriel**

---

# Chapitre 2 : généralité de maintenance industriel

## Introduction

La maintenance industrielle est un ensemble d'activités visant à maintenir le fonctionnement optimal des équipements et des machines dans une entreprise. Elle est essentielle pour garantir la sécurité des travailleurs, prolonger la durée de vie des équipements et éviter les coûts élevés liés aux pannes.

## I. OBJECTIF DE LA MAINTENANCE

la diminution maximale des pannes c'est l'objectif principal de la maintenance.

L'objectif principal de la maintenance est de minimiser les temps d'arrêt imprévus et de maximiser la disponibilité et la fiabilité du système ou de l'équipement.

Pour assurer correctement cette mission, il est nécessaire de se doter en plus de la compétence technique des hommes, d'une organisation efficace et d'outils adéquats.

C'est la nature de l'entreprise qui fixe les l'objectifs, des services de la maintenance. On peut classer les objectifs de la maintenance on deux catégories :

- Les objectifs financiers,
- Les objectifs opérationnels.

Le fait que ces deux objectifs sont différents expliquera pourquoi la production et la maintenance sont souvent à couteau tirés et pourquoi les deux attitudes sont apparemment opposées.

### 1. Objectifs financiers

1. Réduire au minimum les dépenses de la maintenance.
2. Augmenter au maximum les profits.
3. Avoir des dépenses de maintenance en fonction de l'âge des installations et de son taux d'utilisation.

### 2. Objectifs opérationnels

1. Maintenir les équipements.
2. Assurer la disponibilité maximale des installations et des équipements.

3. Fournir un service qui élimine la panne a tous les moments à tout prix.
4. Pousser à la dernière limite la durée de vie de l'installation.
5. Assurer une performance (rendement) de haute qualité.

**Les objectifs peuvent changer avec le temps, une révision des objectifs et de la politique de l'entreprise doit avoir lieu tous les deux ans.**

## **II. Définition de la Maintenance**

### **1. Analogie**

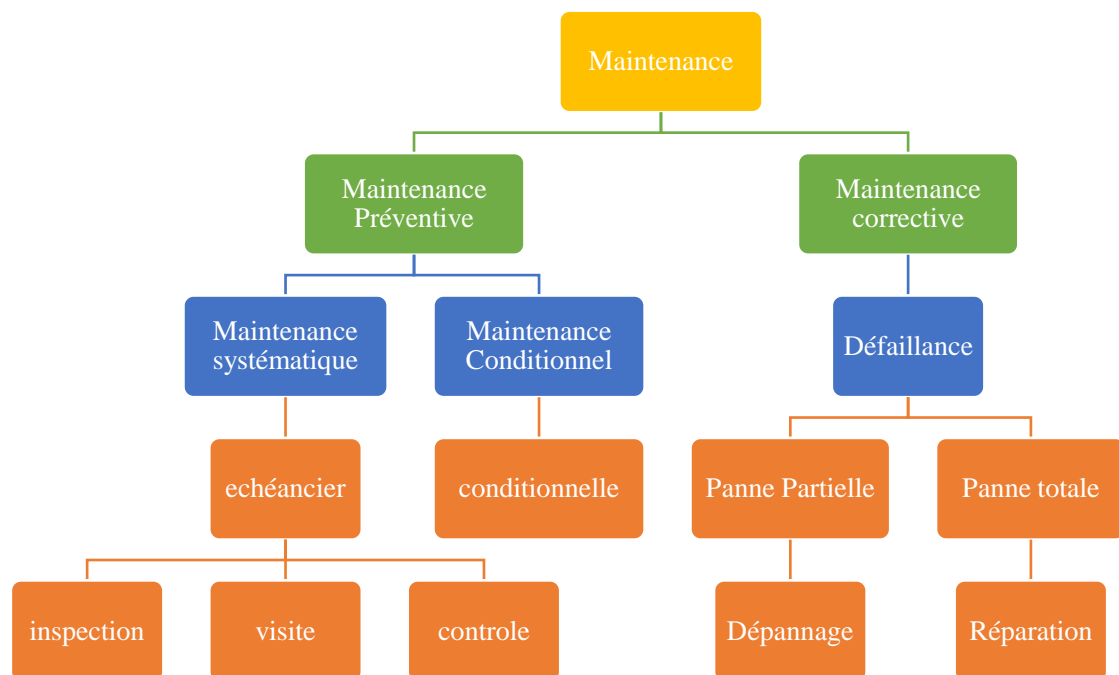
**La maintenance est la « médecine des machines »**

Une analogie entre la santé de l'homme et la santé d'une machine pourrait être la suivante : tout comme le corps humain nécessite un entretien régulier pour rester en bonne santé, les machines ont également besoin d'être maintenues pour fonctionner de manière optimale.

<b>Analogie</b>			
<b>Santé de l'homme</b>		<b>Santé machine</b>	
Connaissance de l'homme	Naissance	Mise en service	Connaissance technologique
Connaissance des maladies			Connaissance des modes de défaillances
Carnet de santé			Historique
Dossier médical	Longévité	Durabilité	Dossier machine
Diagnostic, examen, visite			Diagnostic, expertise, inspection
Connaissance des traitements	Bonne santé	Fiabilité	Connaissance des actions curatives
Traitements curatifs			
Opération	Mort	Rebut	Dépannage, réparation, rénovation, modernisation, échange-st.

En résumé, l'analogie entre la santé de l'homme et la santé des machines souligne l'importance de la maintenance préventive, du diagnostic et de la réparation pour garantir que les machines fonctionnent de manière optimale et fiable. En adoptant une approche proactive de la maintenance, les entreprises peuvent éviter les temps d'arrêt imprévus et les coûts de réparation élevés, tout en prolongeant la durée de vie de leurs machines.

## 2. Les différents types de maintenance



### a) *La maintenance préventive :*

C'est une maintenance ayant pour objet de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu.

### b) *La maintenance corrective :*

C'est une opération de maintenance effectuée après défaillance. Elle est effectuée dont le but de maintenir le matériel dans l'état de ses performances initiales

## 3. Les avantages de la maintenance industrielle

La maintenance industrielle présente plusieurs avantages pour les entreprises qui l'utilisent. En voici quelques-uns :

- **Augmentation de la disponibilité des équipements :** en effectuant des opérations de maintenance préventive régulières, les équipements sont moins susceptibles de tomber en panne, ce qui augmente leur disponibilité et réduit les temps d'arrêt imprévus.
- **Réduction des coûts de production :** les temps d'arrêt imprévus et les réparations d'urgence peuvent coûter très cher. En effectuant une maintenance régulière, les entreprises peuvent réduire ces coûts et maintenir une production stable.

- **Amélioration de la sécurité** : une maintenance régulière permet de s'assurer que les équipements fonctionnent de manière sûre et fiable, ce qui réduit les risques d'accidents de travail.

- **Amélioration de la qualité du produit** : en maintenant les équipements en bon état de fonctionnement, les entreprises peuvent produire des produits de meilleure qualité, car les équipements sont moins susceptibles de tomber en panne et de causer des défauts de production.

- **Prolongation de la durée de vie des équipements** : une maintenance régulière permet de prolonger la durée de vie des équipements en évitant les défaillances prématurées et en optimisant leur fonctionnement.

- **Respect des réglementations** : de nombreuses réglementations imposent des normes de sécurité et de maintenance pour les équipements industriels. En effectuant une maintenance régulière, les entreprises peuvent se conformer à ces réglementations et éviter des sanctions financières.

En somme, la maintenance industrielle est un investissement essentiel pour les entreprises qui souhaitent maintenir leur compétitivité et leur rentabilité à long terme en assurant la disponibilité, la fiabilité et la durabilité de leurs équipements de production.

#### **4. Les compétences requises pour la maintenance industrielle**

La maintenance industrielle nécessite un ensemble de compétences techniques, organisationnelles et relationnelles pour assurer la fiabilité et la durabilité des équipements de production. Voici quelques-unes des compétences requises pour les techniciens de maintenance industrielle :

- **Connaissances techniques** : Les techniciens de maintenance doivent avoir une bonne compréhension des principes de la mécanique, de l'électricité, de l'électronique et de l'automatisation industrielle. Ils doivent également savoir lire et interpréter les schémas électriques et les plans d'installation.

- **Capacités d'analyse et de résolution de problèmes** : Les techniciens de maintenance doivent être capables d'identifier les causes des défaillances et des anomalies des équipements et de trouver des solutions efficaces pour les réparer.

- **Compétences en communication** : Les techniciens de maintenance doivent être capables de communiquer efficacement avec les autres membres de l'équipe de

maintenance, ainsi qu'avec les opérateurs et les superviseurs de production. Ils doivent également être en mesure de documenter leur travail de manière claire et précise.

- **Capacités d'organisation et de planification** : Les techniciens de maintenance doivent être capables de gérer leur temps et de planifier leur travail de manière à maximiser la disponibilité des équipements tout en minimisant les temps d'arrêt.

- **Connaissances en sécurité** : Les techniciens de maintenance doivent connaître et respecter les normes de sécurité en vigueur dans l'industrie, et être en mesure de travailler de manière sûre en utilisant les équipements de protection appropriés.

- **Compétences en informatique** : Les techniciens de maintenance doivent être à l'aise avec l'utilisation des logiciels de GMAO et de surveillance, ainsi que des systèmes d'automatisation industrielle.

En somme, les compétences requises pour la maintenance industrielle sont multiples et variées, allant des compétences techniques à la communication et à la planification. Les techniciens de maintenance doivent être polyvalents et en mesure de travailler de manière autonome tout en étant intégrés dans une équipe.

Les responsables de la maintenance industrielle ont des responsabilités plus larges que les techniciens de maintenance et doivent donc posséder des compétences supplémentaires. Voici quelques-unes des compétences requises pour les responsables de la maintenance industrielle :

- **Compétences en gestion** : Les responsables de la maintenance industrielle doivent être capables de gérer les équipes de maintenance, d'établir des budgets, de planifier les interventions de maintenance et de surveiller les performances des équipements.

- **Compétences en leadership** : Les responsables de la maintenance industrielle doivent être des leaders inspirants pour leur équipe, capables de les motiver et de les guider vers l'atteinte des objectifs de maintenance.

- **Connaissances en gestion de la maintenance assistée par ordinateur (GMAO)** : Les responsables de la maintenance industrielle doivent être en mesure de gérer les systèmes de GMAO pour suivre les interventions de maintenance, établir des plans de maintenance préventive, gérer les stocks de pièces de rechange et analyser les données de maintenance.



- **Compétences en gestion de projets** : Les responsables de la maintenance industrielle doivent être capables de planifier et de gérer des projets de maintenance complexes, comme l'installation de nouveaux équipements, la mise en place de nouvelles méthodes de maintenance ou la mise à niveau des équipements existants.

- **Connaissances en réglementation** : Les responsables de la maintenance industrielle doivent être au fait des réglementations et des normes de sécurité en vigueur dans l'industrie et être en mesure de les appliquer dans leur travail.

- **Compétences en communication** : Les responsables de la maintenance industrielle doivent être en mesure de communiquer avec les membres de leur équipe, les superviseurs de production et les fournisseurs de services de maintenance externes de manière claire et efficace.

En somme, les responsables de la maintenance industrielle ont des compétences supplémentaires à celles des techniciens de maintenance, notamment en matière de gestion, de leadership, de gestion de projets et de réglementation. Ils doivent être en mesure de gérer les équipes de maintenance et de mettre en place des stratégies de maintenance efficaces pour assurer la fiabilité et la durabilité des équipements de production.

## **5. Les outils de la maintenance industrielle**

Les outils de la maintenance industrielle sont des équipements et des technologies qui sont utilisés pour assurer le bon fonctionnement des machines, des équipements et des systèmes dans un environnement de production industrielle. Voici quelques-uns des outils les plus couramment utilisés dans la maintenance industrielle :

- **Le logiciel de gestion de la maintenance assistée par ordinateur (GMAO)** : il s'agit d'un outil informatique qui permet de planifier et de suivre les opérations de maintenance préventive et corrective.

- **Les capteurs de surveillance** : ils permettent de mesurer et de surveiller les paramètres de fonctionnement des équipements, tels que la température, la pression et la vitesse, pour détecter les anomalies et les défaillances.

- **Les équipements de diagnostic** : ils sont utilisés pour identifier les problèmes de fonctionnement des équipements et des machines, tels que les oscilloscopes, les analyseurs de spectre et les caméras thermiques.

- **Les outils de lubrification et de nettoyage** : ils sont utilisés pour maintenir les machines et les équipements en bon état de fonctionnement en évitant l'accumulation de poussière, de graisse et de débris.

- **Les équipements de levage et de manutention** : ils sont utilisés pour soulever et déplacer des équipements lourds et volumineux, tels que des moteurs et des machines.

- **Les outils de soudage et de coupage** : ils sont utilisés pour réparer et maintenir les équipements et les machines, tels que les soudeuses, les découpeuses et les meuleuses.

- **Les équipements de protection** : ils sont utilisés pour assurer la sécurité des techniciens et des opérateurs lorsqu'ils travaillent sur des équipements et des machines, tels que les casques, les lunettes de protection et les gants.

Ces outils de maintenance industrielle sont essentiels pour maintenir les machines et les équipements en bon état de fonctionnement, minimiser les temps d'arrêt et maximiser la production industrielle.

## **6. Les activités de la maintenance**

### ***a) L'inspection***

C'est un contrôle de conformité réalisé en mesurant, observant, testant ou calibrant les caractéristiques significatives d'un bien.

En général, l'inspection peut être réalisée avant, pendant ou après d'autres activités de maintenance.

### ***b) La surveillance :***

C'est l'activité exécutée manuellement ou automatiquement ayant pour objet d'observer l'état réel d'un bien.

La surveillance se distingue de l'inspection en ce qu'elle est utilisée pour évaluer l'évolution des paramètres du bien avec le temps.

### ***c) La réparation :***

Ce sont les actions physiques exécutées pour rétablir la fonction requise d'un bien en panne.

***d) Le dépannage :***

Ce sont les actions physiques exécutées pour permettre à un bien en panne d'accomplir sa fonction requise pendant une durée limitée jusqu'à ce que la réparation soit exécutée.

***e) L'amélioration :***

Ensemble des mesures techniques, administratives et de gestion, destinées à améliorer la sûreté de fonctionnement d'un bien sans changer sa fonction requise.

***f) La modification :***

Ensemble des mesures techniques, administratives et de gestion, destinées à changer la fonction d'un bien.

***g) La révision :***

Ensemble complet d'examens et d'actions réalisés afin de maintenir le niveau requis de disponibilité et de sécurité.

***h) La reconstruction :***

Action suivant le démontage d'un bien et la réparation ou le remplacement des composants qui approchent de la fin de leur durée de vie utile et/ou devraient être systématiquement remplacés. La reconstruction diffère de la révision en ce qu'elle peut inclure des modifications et/ou améliorations.

L'objectif de la reconstruction est normalement de donner à un bien une vie utile qui peut être plus longue que celle du bien d'origine.

## **7. L'importance de la formation continue en maintenance industrielle**

La maintenance industrielle est un domaine en constante évolution, avec de nouvelles technologies et de nouveaux équipements qui sont constamment introduits. Il est donc important que les techniciens de maintenance reçoivent une formation continue pour rester à jour avec les dernières tendances et les dernières technologies.

La formation continue peut inclure des cours en ligne, des ateliers pratiques et des conférences industrielles. Cela permet aux techniciens de maintenance de développer leurs compétences et leur expertise, ce qui se traduit par une meilleure performance et une meilleure qualité de travail.

## **Conclusion**

La maintenance industrielle, c'est l'ensemble des opérations destinées à empêcher ou à réparer les pannes qui surviennent sur les machines. Elle suit dans la plupart des cas les recommandations et le calendrier du fabricant des appareils.

---

## **Chapitre 3 : Maintenance de moteur thermique CAT 3512**

---

# **Chapitre 3 : Maintenance de moteur thermique CAT 3512**

## **Introduction**

La maintenance des équipements Caterpillar est d'une importance capitale pour assurer leur bon fonctionnement, leur durabilité et leur disponibilité opérationnelle. Caterpillar est un fabricant renommé d'une large gamme d'équipements lourds tels que des moteurs, des engins de chantier, des groupes électrogènes et bien d'autres. La maintenance appropriée de ces équipements est essentielle pour maximiser leur performance, réduire les temps d'arrêt non planifiés et prolonger leur durée de vie.

### **I. Généralités sur le banc d'essais des moteurs thermiques.**

#### **1. Définition d'un banc d'essais de moteur thermique**

On appelle banc d'essais moteurs l'ensemble des installations permettant la rotation autonome de moteurs thermiques dans les conditions optimales de travail, de sécurité et de confort ; ces installations construites autour d'un frein moteur, qui en est l'élément essentiel, comprennent également les moyens de mesure, de refroidissement, d'évacuation des gaz brûlés, etc.

Le banc d'essais moteurs est l'élément indispensable aux constructeurs, aux équipementiers, aux pétroliers et aux préparateurs de véhicules, leur permettant d'assurer la majeure partie de leurs essais, qu'ils soient de recherche, de mise au point, ou d'endurance.

Le banc d'essais moteurs est un moyen complexe et onéreux qu'il convient de définir avec soin par un cahier des charges précis et dont la gestion devra être rigoureuse afin d'assurer un engagement maximal, la maintenance et l'organisation étant des éléments essentiels de cette gestion.

#### **2. Essais des moteurs thermiques**

Le but des essais moteurs est de valider les tenues mécaniques et thermiques des différentes pièces composant le moteur.

À chaque étape du développement d'un nouveau moteur (ou d'une nouvelle version de moteur déjà existant), les essais d'endurance renseignent l'homme d'essais sur le niveau de fiabilité de la pièce ou de la fonction concernée.

La validation finale du produit regroupe à la fois les différents essais réalisés par fonction sur bancs tout au long du développement et les essais sur moteurs complets représentatifs réalisés sur bancs et sur véhicules, l'ensemble de ces essais étant inscrit dans un plan d'expérience, établi au départ, et assurant l'optimisation du nombre d'essais à réaliser pour un niveau de confiance souhaité.

Les essais ont deux caractéristiques principales :

**La durée d'essai** : en général, un moteur subit un test d'une durée de 4 à 6 h.

**La nature** : ce sont des essais réalisés à partir d'un cycle de base défini par plusieurs paramètres (régime, couple, températures) et répétés jusqu'à obtenir l'objectif préalablement fixé : perte de puissance et excès de consommation d'huile par exemple.

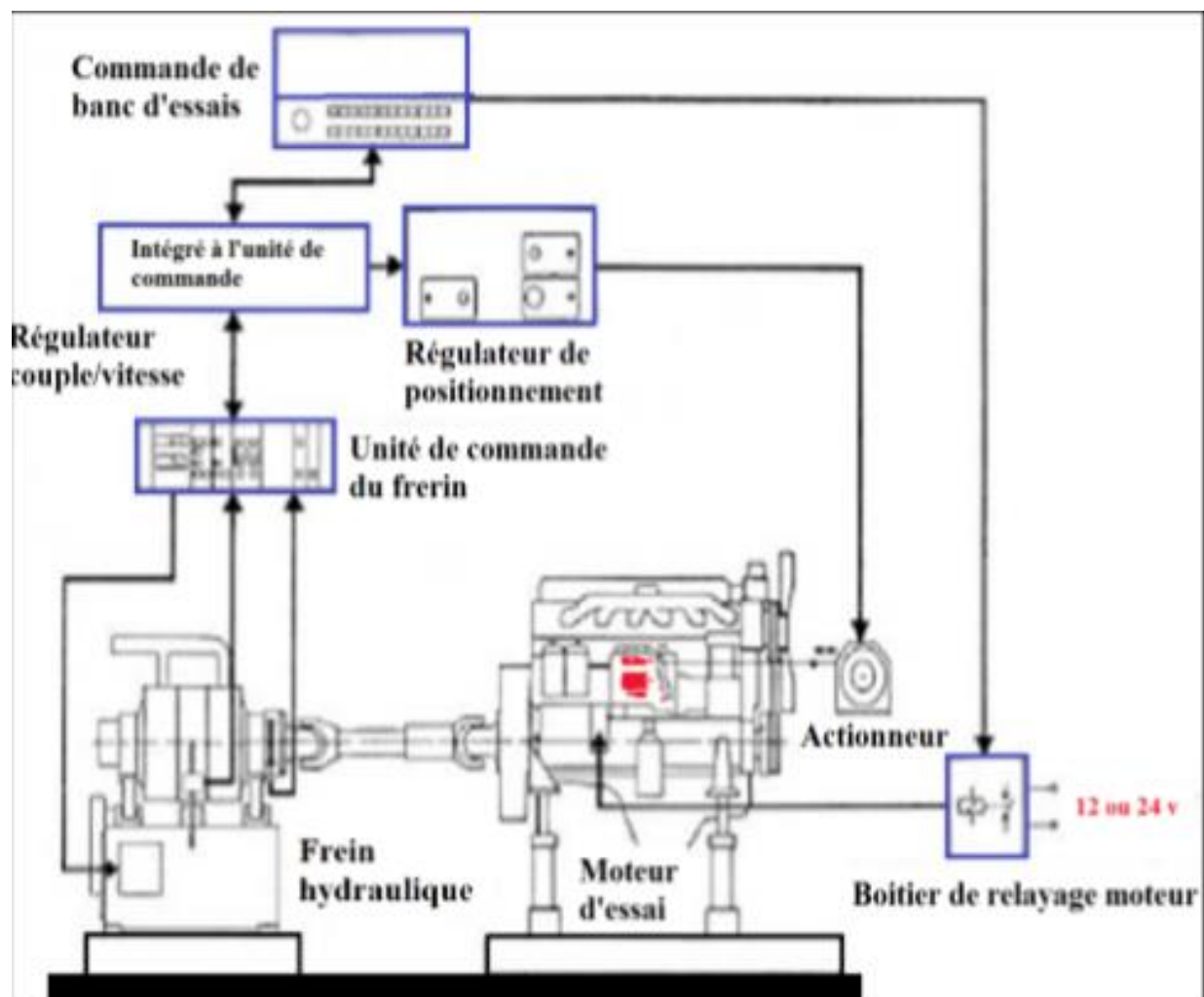


Figure 3. 1: Schéma descriptif du banc d'essai

### 3. Composants du banc d'essais

#### a) *Le démarreur*

Le démarreur comporte un moteur électrique de puissance 22 kW, et sert à commander le frein qui permet de démarrer des moteurs atteignant jusqu'à 800 kW de puissance. Le moteur électrique est lié avec une boîte de transmission de réduction de conduite à travers les griffes de la roue libre sur la fin de l'arbre du frein.



#### b) *Le frein hydraulique*

Ils utilisent, dans la plupart des cas, le principe de Froude: un rotor, solidaire de l'arbre du frein et comportant des aubages droits ou inclinés, est situé entre deux chambres de turbulence alimentées en permanence par une arrivée d'eau sous pression, le réglage de la charge étant réalisé par une vanne placée en aval. L'arbre est relié au stator par l'intermédiaire de roulements. Le stator pivote par rapport au bâti, soit sur des roulements oscillants, soit sur des lames de flexion (brevet Schenck), la réaction aux efforts de freinage est réalisée par l'intermédiaire du système de mesure de couple (peson électronique ou balance mécanique), le frein est dit : monté en balance.

<u>Caractéristiques du frein banc d'essai (F35M) :</u>
➤ Puissances Maxi : 1640 KW
➤ Couple Maxi : 7120 Nm
➤ Vitesse Maxi : 2200 tr/min



Figure 3. 2: Le frein hydraulique au sein de banc d'essais.



### *c) Aspirateur et ventilateur*

L'échappement de banc composé d'une tuyauterie en acier inoxydable ondulée d'un diamètre adapté aux puissances des moteurs à tester, d'un silencieux et d'un système d'évacuation. Cette ligne « banc » dispose d'un système de vannage de façon à recréer la contrepression à l'échappement existante sur véhicule.



*Figure 3. 3: L'échappement du banc d'essais.*

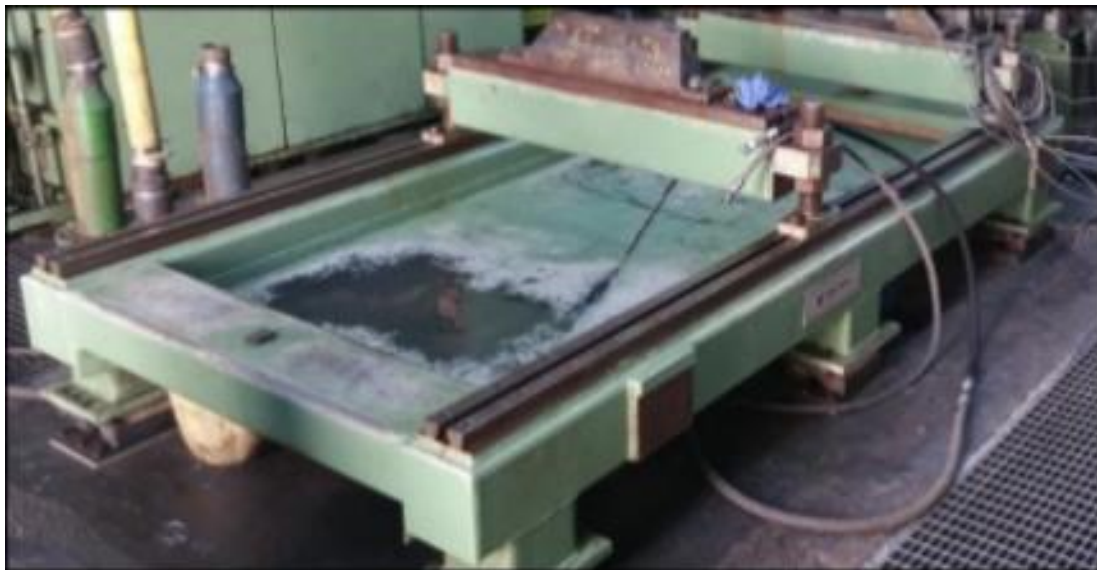
La ventilation a pour but de véhiculer l'énergie de rayonnement et de convection dégagée par le moteur, l'échappement et le frein d'absorption de puissance. Elle sert également à créer une légère dépression dans la cellule (20 à 30 Pa) afin de canaliser les fuites de gaz éventuelles.



*Figure 3. 4: Le ventilateur du banc d'essais.*

#### ***d) Le support moteur***

Le support est mobile (chariot ou palette) et permet la mise en place de toute la périphérie nécessaire au fonctionnement du moteur : câblages et systèmes d'injection et d'allumage, refroidissement d'huile, échangeur d'air suralimenté, etc. Les fluides sont distribués sur une plaque par l'intermédiaire de raccords rapides permettant ainsi une connexion très rapide dans le banc. Il en est de même pour tous les câbles de prises d'informations qui sont ainsi rapidement connectés au bornier du banc.



*Figure 3. 5: Le support moteur.*

### **4. Les circuits**

#### ***a) Circuit d'eau du banc et du moteur***

Le circuit d'eau banc a pour fonction :

- La mise en charge et le refroidissement des freins hydrauliques ou simplement le refroidissement des freins électriques (les génératrices sont généralement refroidies par air).
- Le refroidissement de l'eau et de l'huile moteur.
- Le refroidissement d'accessoires éventuels.

Le circuit est composé d'une réserve d'eau importante, d'un groupe de motopompes assurant la circulation d'eau et d'un système de réfrigération. Un soin particulier est porté au traitement de l'eau de façon à garantir la longévité des échangeurs et des freins (dureté, antialgues, antibactéries, etc.).

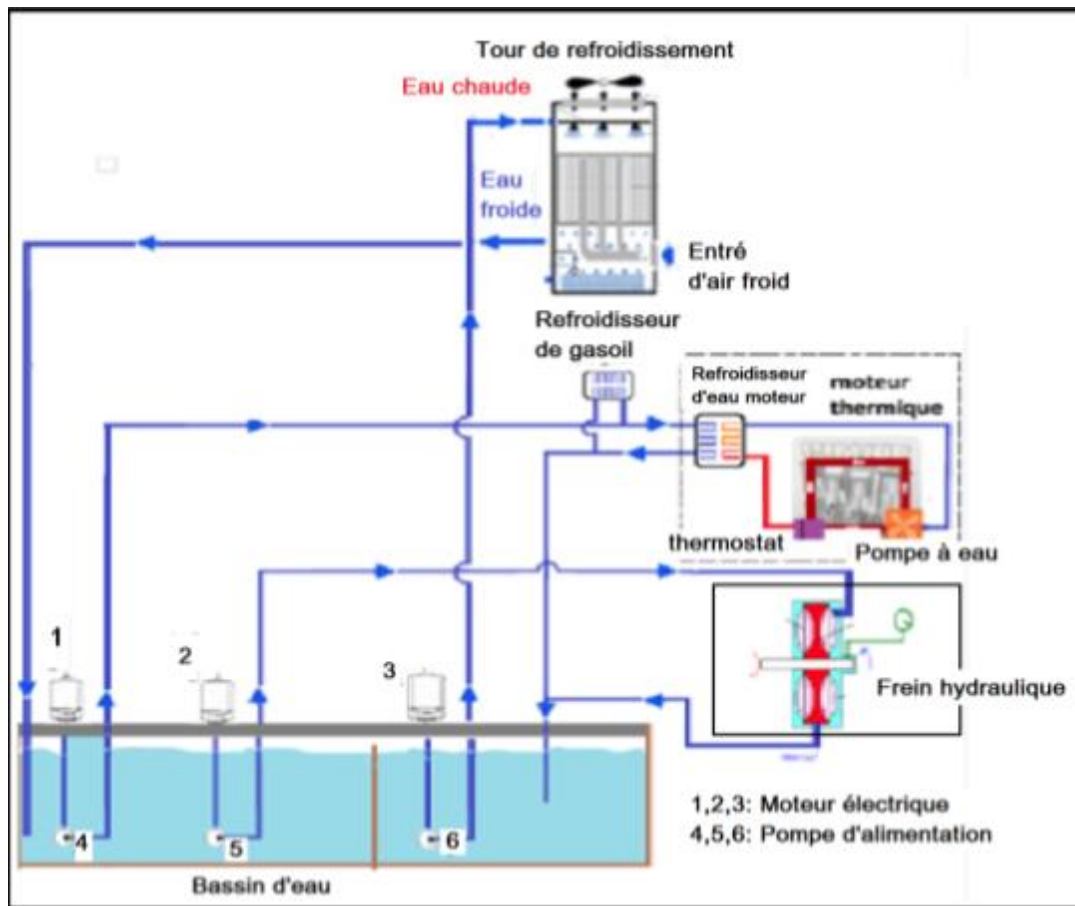


Figure 3. 6: La circuit d'eau du banc d'essais.

Le circuit d'eau moteur doit être adaptable à tous les types de circuits existants de façon à garantir des conditions de fonctionnement du moteur représentatives (débit, pressions, températures). Il est le plus court possible afin de diminuer les pertes de charge et permettre d'optimiser les caractéristiques dynamiques de régulation. La perte de charge globale est ajustée à l'aide d'une vanne.

L'échangeur est généralement tubulaire du type eau/eau. La puissance à évacuer peut varier de 60 % de la puissance nominale pour un moteur à essence suralimenté, à 110 % de la puissance nominale pour un moteur Diesel à préchambre.

Les matériaux des différents éléments constitutifs sont étudiés en fonction de leur sensibilité à la corrosion électrochimique vis-à-vis du liquide de refroidissement utilisé. Les sécurités sont multiples : niveau d'eau minimal et pression maximale dans le vase d'expansion, température d'eau maximale sortie moteur et température maximale de la culasse. Pour la réalisation de cycles thermiques particuliers, on a recours à un circuit spécifique avec un réservoir d'eau glycolée froide (20 à – 30°C) et une pompe auxiliaire de circulation.

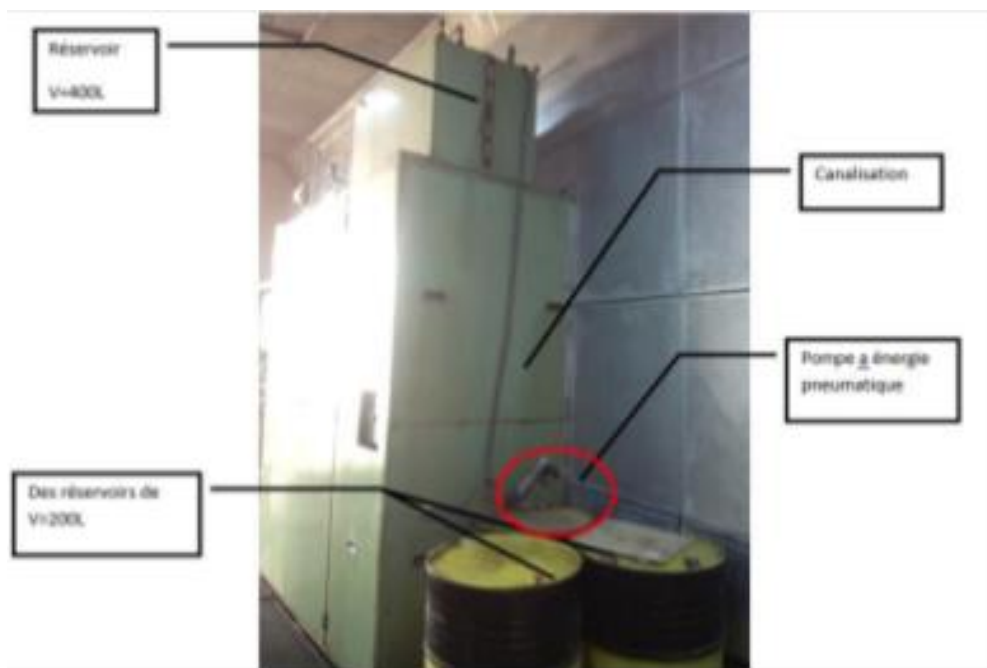


*Figure 3. 7: La circuit d'eau de refroidissement.*

#### ***b) Circuit de carburant***

Le circuit de carburant est composé :

- Des cuves de stockages (Capacités de 400L), leur implantation fait l'objet de spécifications dans le cas de réglementation des installations classées.
- D'un réseau des pompes d'alimentation
- De réservoir à niveau constant assurent l'alimentation en charge du moteur.



*Figure 3. 8: La circuit de carburant.*

### *c) L'adoucisseur*

Un adoucisseur d'eau est un dispositif visant à réduire la dureté de l'eau, c'est-à-dire sa teneur en sels de calcium et de magnésium. Cet appareil favorise l'interaction des ions calcium et des ions magnésium avec les ions sodium.



*Figure 3. 9: L'adoucisseur au sein du banc d'essais.*

## **II. Généralité sur le moteur thermique :**

### **1. Historique du moteur thermique**

Le développement du moteur thermique remonte au début du XIXe siècle, avec les travaux de plusieurs inventeurs et ingénieurs. L'un des précurseurs de la technologie du moteur thermique était le français Nicolas-Joseph Cugnot, qui a conçu et construit un véhicule à vapeur à trois roues en 1769. Cependant, ce véhicule n'était pas très pratique et n'a pas conduit à un développement ultérieur de la technologie du moteur à vapeur.

Au début des années 1800, le Britannique Richard Trevithick a développé des locomotives à vapeur, qui ont commencé à être utilisées pour le transport ferroviaire. En 1860, l'ingénieur français Étienne Lenoir a inventé le premier moteur à combustion interne, qui fonctionnait au gaz de ville et était utilisé pour alimenter des machines industrielles.

Plus tard, au début du XXe siècle, les moteurs à combustion interne ont commencé à être utilisés dans les voitures, les camions et les avions. Les travaux de l'ingénieur allemand Rudolf Diesel ont conduit au développement du moteur Diesel en 1897, qui a été utilisé dans les véhicules lourds et les navires.

Depuis lors, les moteurs thermiques ont continué à évoluer avec l'amélioration des technologies et l'utilisation de nouveaux matériaux. Cependant, la préoccupation croissante pour les impacts environnementaux a conduit à des recherches sur des alternatives plus propres et plus durables, telles que les véhicules électriques et les sources d'énergie renouvelables.

Un moteur thermique est un type de moteur qui convertit l'énergie thermique en énergie mécanique, permettant ainsi de produire du mouvement. Il existe plusieurs types de moteurs thermiques, notamment les moteurs à combustion interne et les moteurs à combustion externe.

Les moteurs à combustion interne sont les plus couramment utilisés dans les voitures, les avions, les bateaux et les motos. Ils fonctionnent en brûlant du carburant (essence, diesel, gaz naturel, etc.) dans une chambre de combustion, ce qui produit de la chaleur et des gaz qui poussent un piston. Le mouvement du piston est ensuite transmis à un arbre de transmission pour produire de l'énergie mécanique.

Les moteurs à combustion externe, en revanche, fonctionnent en utilisant une source de chaleur externe (par exemple, une flamme) pour chauffer un fluide (comme l'eau ou l'air) qui fait tourner une turbine ou un piston pour produire de l'énergie mécanique. Les moteurs à vapeur et les moteurs Stirling sont des exemples de moteurs à combustion externe.

Les moteurs thermiques ont une grande variété d'applications, notamment dans les transports, la production d'énergie et l'industrie manufacturière. Cependant, leur fonctionnement peut également produire des émissions de gaz à effet de serre, ce qui a des impacts sur l'environnement et la santé.

## **2. Définition du moteur thermique CAT 3512**

Les moteurs diesel industriels 3512 Cat® offrent les performances et la durabilité inégalées dont vos clients ont besoin pour assurer le fonctionnement de leurs applications et opérations industrielles. Ils offrent une puissance élevée, une fiabilité éprouvée et un excellent rendement énergétique. Ces moteurs maintiennent de faibles coûts d'exploitation pour que vos clients restent rentables pendant de nombreuses années. Les industries et les



applications alimentées par les moteurs 3512 comprennent les foreuses, les broyeurs, la construction, les grues, les dragues, la foresterie, l'industrie générale, la manutention, l'exploitation minière, les engins mobiles de terrassement, les pompes, les pelles/raglines, les engins de transport de surface et les trancheuses. Ces moteurs 3512, d'une puissance nominale de 761-1119 kW (1020-1500 bhp) @ 1200-1800 rpm, ne sont pas certifiés. Ils sont disponibles pour les zones non réglementées du monde entier.

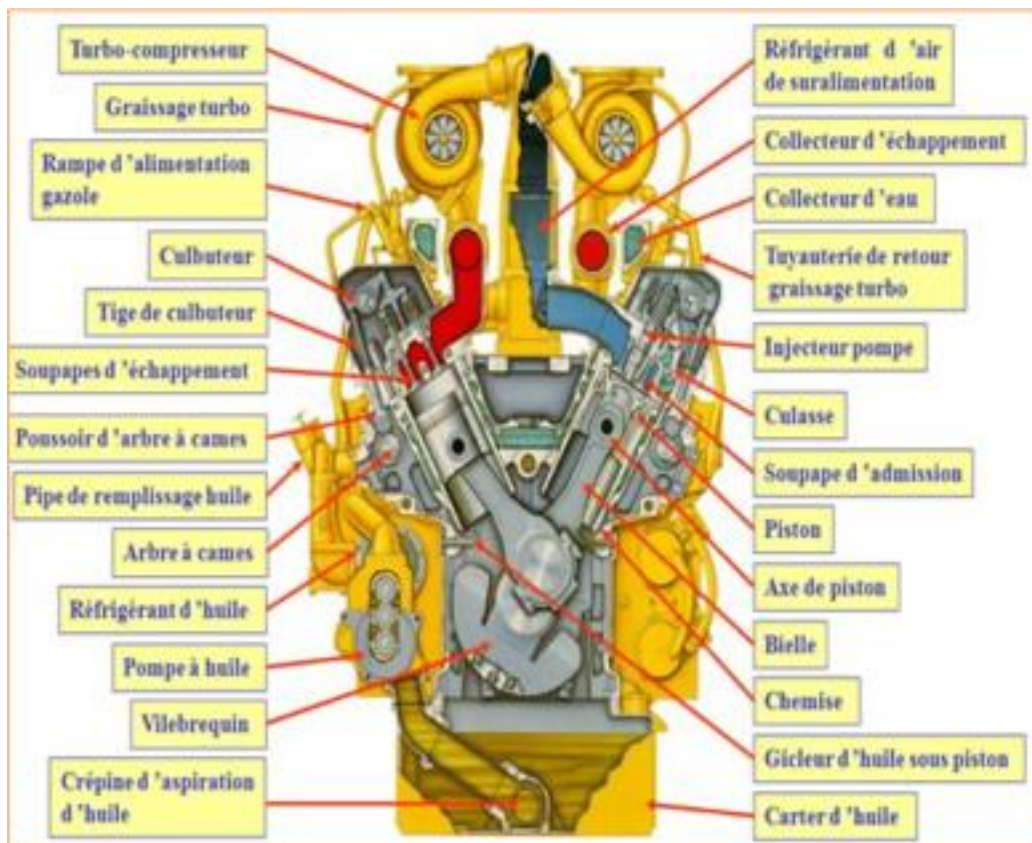


Figure 3. 10: Les différentes organes du moteur 3512

### 3. Description et principe de fonctionnement :

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. Un régulateur électrique et un mécanisme de commande contrôle le débit de la pompe d'injection afin de maintenir le régime moteur choisi par l'opérateur.

La pompe d'injection combine le dosage et le pompage de gas-oil qui est acheminé aux injecteurs (un par cylindre). L'avance automatique du calage assure une injection optimale sur toute plage de régime moteur. 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.

Le cycle à quatre temps de ce moteur est le même que celui de tous les moteurs Diesel. Donc, il nécessite deux tours du vilebrequin ; soit  $720^\circ$  de rotation du vilebrequin pour effectuer un cycle complet.

Un cycle complet vaut cinq phases successives suivantes :

**La 1<sup>ère</sup> phase :** Est celle d'admission qui fait introduire de l'air frais dans le cylindre par l'intermédiaire des soupapes d'admission ouvertes.

**La 2<sup>ème</sup> 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  $500^\circ\text{C}$ .

**La 3<sup>ème</sup> 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.

**La 4<sup>ème</sup> 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.

**La 5<sup>ème</sup> phase :** Est celle d'échappement qui fait chasser les gaz brûlés vers l'atmosphère par l'intermédiaire des soupapes d'échappement ouvertes.



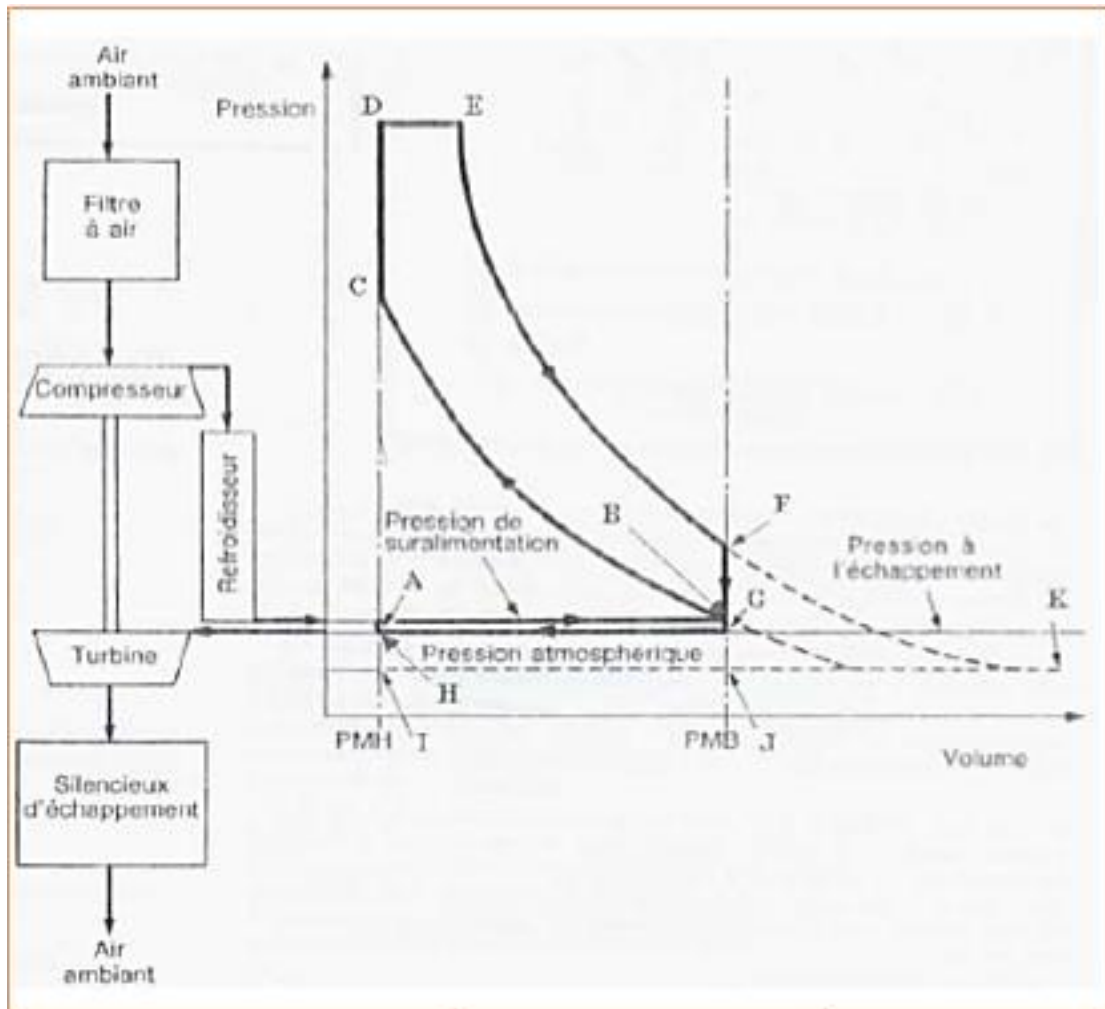


Figure 3. 11 : Cycle théorique d'un moteur suralimenté

Les moteurs thermiques ont pour rôle de transformer l'énergie thermique en énergie mécanique. Et sont généralement distingués en deux types .Les moteurs à combustion interne où le système est renouvelé à chaque cycle. Le système est en contact avec une seule source de chaleur (l'atmosphère),c'est le cas des moteurs à essence et diesel. Les moteurs à combustion externe où le système (air) est recyclé, sans renouvellement, ce qui nécessite alors deux sources de chaleur, par exemple dans cette dernière catégorie on trouve les machines à vapeur, le moteur Stirling

### III. Éléments constitutifs d'un moteur diesel

Présentation des organes fixes et mobiles d'un moteur thermique :

## 1. Les organes fixes :

### a) Culasse



Figure 3. 12: Culasse

La culasse est une pièce fixe, assemblée sur le bloc-cylindres rigidement pour qu'elle résiste à la fois aux chocs des explosions et à la dilatation des pièces, étanches pour éviter toute fuites des gaz vers l'extérieur et la rentrée d'eau dans les cylindres.

### b) Bloc-Moteur

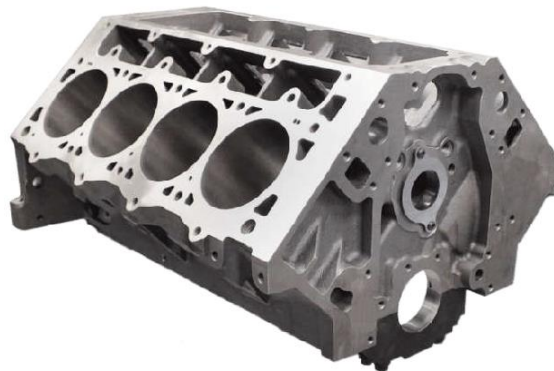


Figure 3. 13: Bloc-moteur

Il supporte directement ou non, les parois latérales des cylindres. Le bloc-cylindres formé d'une seule pièce est plus résistant aux efforts produits. Les matériaux de sa construction, soit les fontes spéciales soit les alliages légers à base d'aluminium. Il est soumis à des efforts complexes, l'assemblage au châssis n'est jamais rigide : on interpose des blocs antivibratoires qui ont la propriété de se déformer. Interpose des blocs antivibratoires qui ont la propriété de se déformer.

Matière : Du fait de sa forme complexe, le bloc-moteur est une pièce coulée généralement réalisée en fonte mais parfois aussi en aluminium.

Le bloc comporte de nombreuses cavités intérieures permettant le passage du liquide de refroidissement, les pistons sont montés directement sur les blocs-moteur en fonte.

Sur les blocs-moteur en aluminium, il faut prévoir une chemise de cylindre résistante à l'usure, on peut aussi obtenir une couche de nicasil (alliage de nickel et de carbure de silicium).

**c) Carter**

En mécanique, un carter est une enveloppe protégeant les organes mécaniques, souvent fermée de façon étanche, et contenant le lubrifiant nécessaire à son fonctionnement.



*Figure 3. 14: un carter*

**d) Collecteurs d'échappement et le distributeur :**

Le distributeur est un élément de la ligne d'air d'un moteur à explosion multicylindre, Appelé aussi répartiteur, Il a pour fonction de fournir, à chaque cylindre, la quantité d'air nécessaire à une combustion complète du carburant.



*Figure 3. 15: Collecteurs d'échappement*

Le rôle distributeur est de répartir l'air admis dans le moteur sur la totalité des cylindres pour réaliser une combustion totale du carburant

## 2. Les organes mobiles

### a) *Piston*

Un piston est un élément cylindrique pouvant se déplacer en va-et et-vient dans un cylindre ce mouvement génère un déplacement de gaz ou une variation de pression de ce gaz, qu'on appelle compression, dans les machines où le piston a une forme cylindrique, le piston est relié au vilebrequin par une bielle ou tige de piston. Le piston est entouré de segments de piston relié au vilebrequin par une bielle ou tige de piston. Le piston est entouré de segment de piston assurant une bonne étanchéité entre les deux côtés.



*Figure 3. 16: Un piston*

### b) *Bielle*

La bielle est l'organe de liaison entre le piston et le vilebrequin. Il s'agit d'une tige forgée qui doit être aussi légère mais en même temps aussi solide que possible [3]. La bielle comporte trois parties :



*Figure 3. 17: La bielle*

#### ❖ Le pied

- C'est la liaison entre la bielle et le piston.
- Il est percé et alésé en cas d'axe serré dans la bielle.

- Il est percé et alésé avec une bague en bronze en cas d'axe libre dans la bielle ; la bague est alors percé pour assurer la lubrification de l'axe.

❖ La tête :

- C'est la liaison avec le vilebrequin (manetons). Elle comporte 2 parties :
- L'une solidaire du cort « la tête » .
- L'autre rapportée: « le chapeau » ce dernier est fixé par des boulons à écrous auto serrures.

❖ Le corps :

- Il assure la rigidité de la pièce

Il est généralement de section en forme de I , croissant du pied vers la tête

**c) Vilebrequin :**

Un vilebrequin est un axe excentrique qui convertit un mouvement rectiligne en un mouvement rotatif. Il constitue un élément essentiel des moteurs à essence, moteurs Diesel et autres moteurs à combustion. Il en existe de nombreuses formes et tailles selon le constructeur et le nombre de cylindres



*Figure 3. 18: vilebrequin*

**d) Volant moteur :**

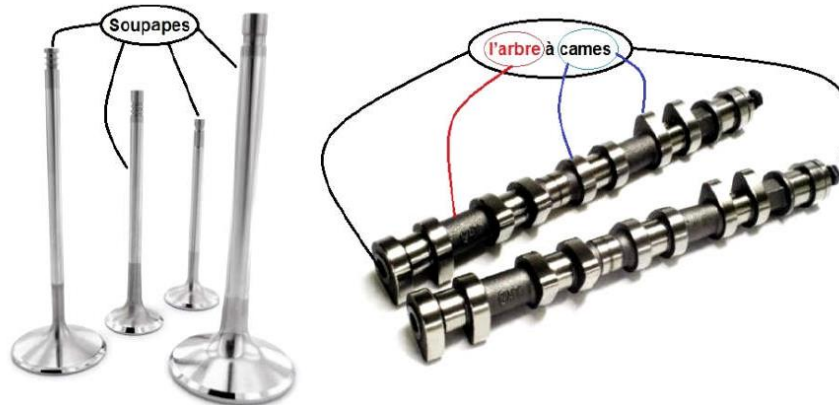


*Figure 3. 19: volant moteur*

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

- Il porte la couronne de lancement du démarreur
- Il porte le système d'embrayage et possède une surface d'appui pour le disque.
- Il porte parfois le repère de calage d'allumage ou le déclenchement du repère

**e) Soupapes et l'arbre à cames**



*Figure 3. 20: Soupapes et l'arbre à came.*

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

Un arbre à cames est un système mécanique servant à transformer un mouvement rotatif en mouvement de translation alternatif.

## **IV. Etude des circuits et les systèmes**

### **1. Système de refroidissement**

On appelle "système de refroidissement" l'ensemble des mécanismes et dispositifs qui maintiennent l'état thermique requis des pièces.

Le système de refroidissement comprend une pompe à eau centrifuge entraînée par engrainage, avec un boîtier des thermostats comprenant quatre thermostats pour régler la température de l'eau de refroidissement qui circule dans le moteur, les refroidisseurs d'huile et les refroidisseurs d'admission.

L'évacuation de chaleur s'effectue dans le radiateur par l'air envoyé à l'aide d'un ventilateur a huit pales entraîné par courroies.

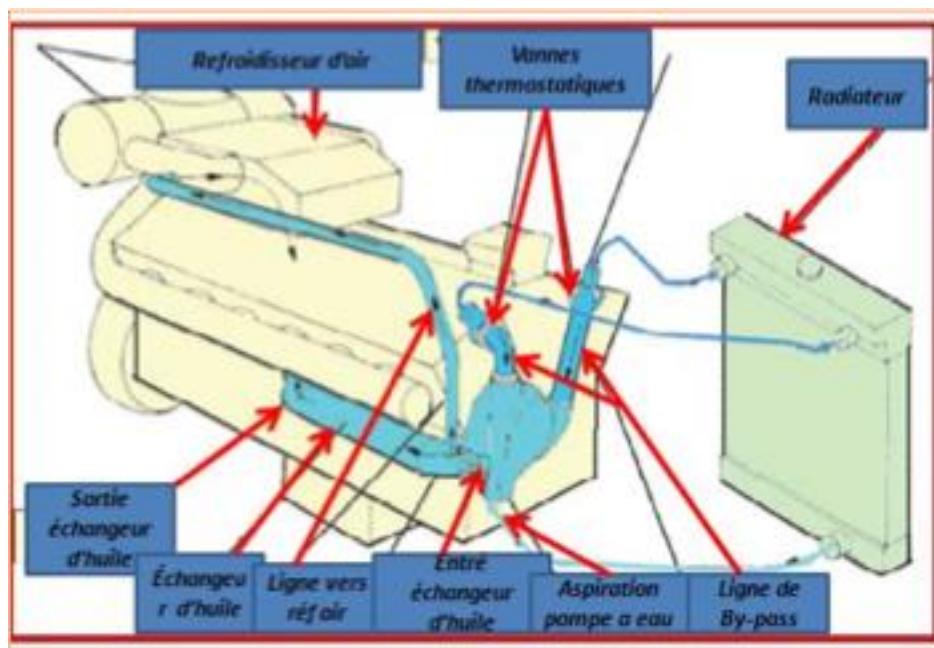


Figure 3. 21: Système de refroidissement

Organes principaux du système de refroidissement :

#### ❖ Radiateur :

Le radiateur est de type tubulaire (tube à ailettes plat). C'est l'organe chargé de céder la chaleur enlevée aux cylindres, par l'intermédiaire de l'eau en circulation. La quantité de chaleur cédée par le radiateur est proportionnelle :

- A la différence entre la température de l'eau et celle de l'air ambiant d'où l'intérêt d'obtenir une température de l'eau voisine de l'ébullition mais sans l'atteindre (l'évaporation);
- A la surface frontale de radiateur;
- Au temps pendant les quel l'eau reste en contact avec la surface radiante.

Le radiateur se compose de :

- Un réservoir supérieur muni d'un orifice permettant le remplissage, et deux orifices pour l'entrée de l'eau chaude du moteur;
- Un réservoir inférieur pour envoyer l'eau refroidie au moteur;



- Une série de canalisation de forme circulation réunissant les deux réservoirs, et dans les quelles l'eau en circulation se refroidit



*Figure 3. 22: Radiateur*

#### ❖ Ventilateur :

Le refroidissement de l'eau chaude est assuré par le courant d'air qui passe à travers le radiateur, pour augmenter le volume d'air admis en dispose d'un ventilateur près du radiateur. Le ventilateur est en tôle avec des ailettes boulonnées sur le moyeu. Ce dernier est fixé au bloc cylindre. Le ventilateur est entraîné par six courroies trapézoïdales en toile caoutchoutée.



*Figure 3. 23: Ventilateur*



### ❖ Pompe à eau :

La plus répandue est la pompe centrifuge. Elle se compose d'un corps de pompe généralement en bronze et portant deux ouvertures, une d'aspiration pressée au centre du corps de la pompe, l'autre de refoulement placée à la périphérie. Dans le corps de la pompe se meut une roue à ailettes. L'arbre de la pompe à eau est entraîné par le vilebrequin à l'intermédiaire de pignons.

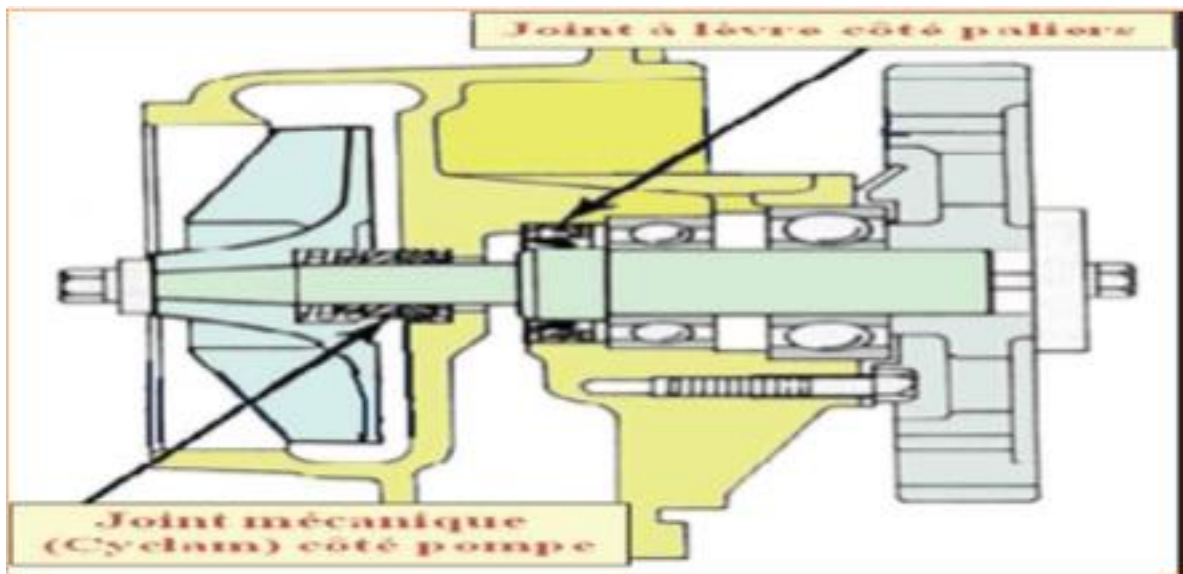


Figure 3. 24: Pompe à eau

### ❖ Thermostat

A pour rôle maintenir la température de l'eau les limites déterminées et d'accélérer le chauffage de l'eau au démarrage du moteur.

La pièce principale du thermostat est appelée soufflet en laiton, lorsque la température est inférieure à 82°C, la soupape central est appliquée parfaitement contre son siège. Il en résulte que l'eau circule dans le by-pass, avec l'augmentation de la température de l'eau, le liquide contenu dans le soufflet commence à se transformer en vapeur saturée, alors la pression augmente.

Il s'ensuit que la soupape s'ouvre progressivement, la soupape latérale masque les lumières, le fluide alors passe au radiateur.



*Figure 3. 25: Thermostat*

#### ❖ Le fluide de refroidissement

Le fluide de refroidissement se compose normalement de trois éléments qui sont : L'eau est utilisée dans le circuit de refroidissement pour assurer l'échange thermique. Les additifs contribuent à protéger les surfaces métalliques du circuit de refroidissement contre la corrosion. Le glycol protège le circuit contre l'ébullition, gel et la cavitation de la pompe à eau et les chemises de cylindre.

On utilise le liquide de refroidissement longue durée Caterpillar, celui-ci est un antigel à base d'éthylène-glycol. Toutefois, le liquide de refroidissement long durée Caterpillar contient des inhibiteurs de corrosion et des agents anti-mousses ayant une faible teneur en nitrites.

Le liquide de refroidissement Caterpillar permet de protéger la durée de service du liquide de refroidissement à six ans. La durée de vie de liquide de protéger contre gel jusqu'à -36°C, il peut aussi être concentré pour protéger le point de gel -51°C.

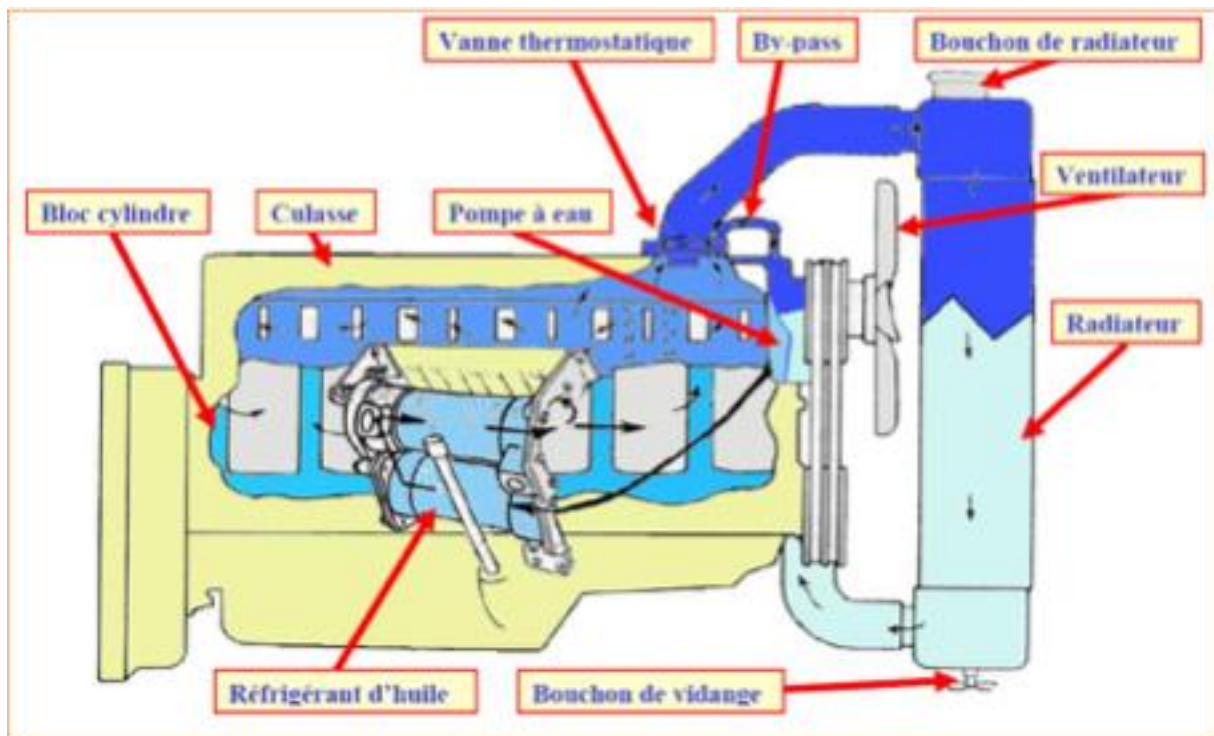


Figure 3. 26: Circuit de refroidissement d'eau.

## 2. Système de lubrification

### Description

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

Ce système assure la formation des films de lubrifiant entre les surfaces de la pièce en mouvement (segment, cylindre, paliers et tourillons de vilebrequin, ..., etc. Le procédé de lubrification est déterminé d'après la position et le mouvement des pièces. On distingue trois types de lubrification dans le moteur CAT 3512 qui sont lubrification sous pression, par barbotage et par écoulement.

- ❖ Les organes du système de lubrification :
- ❖ La pompe à l'huile :

La pompe à l'huile utilisée dans le moteur 3512 CAT sont de type pompe à engrainage à double étages. Elle est composée d'un boîtier moulé dans le quel tourne trois pignons à denture droite. Elle est de construction robuste.

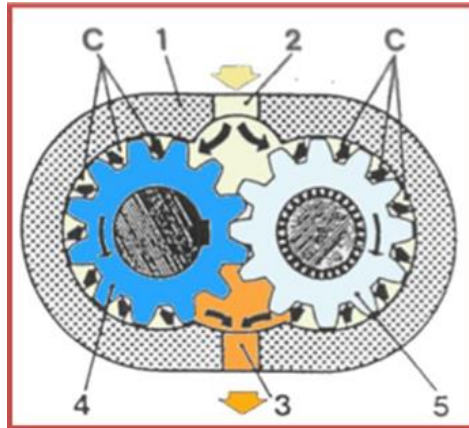


Figure 3. 27: La pompe à l'huile

Un des pignons est entraîné par un arbre vertical prenant son mouvement sur un renvoi de l'arbre à cames.

Les autres pignons montés fous et entraînés par le premier corps de la pompe demandent un ajustage assez soigné. Il est généralement rapporté et placé au point le plus bas du carter pour des facilités d'amorçage de la pompe.

L'entrée d'huile est toujours protégée par une crépine, qui évite la détérioration des pignons par des impuretés ou par des particules métalliques.

L'huile pénètre dans les chambres d'aspiration c'est-à-dire du côté où les dents se séparent. Elle remplit l'espace compris entre les dents et le carter, est entraînée par elles et est ainsi chassée dans les chambres de refoulement situées du côté opposé à l'entrée.

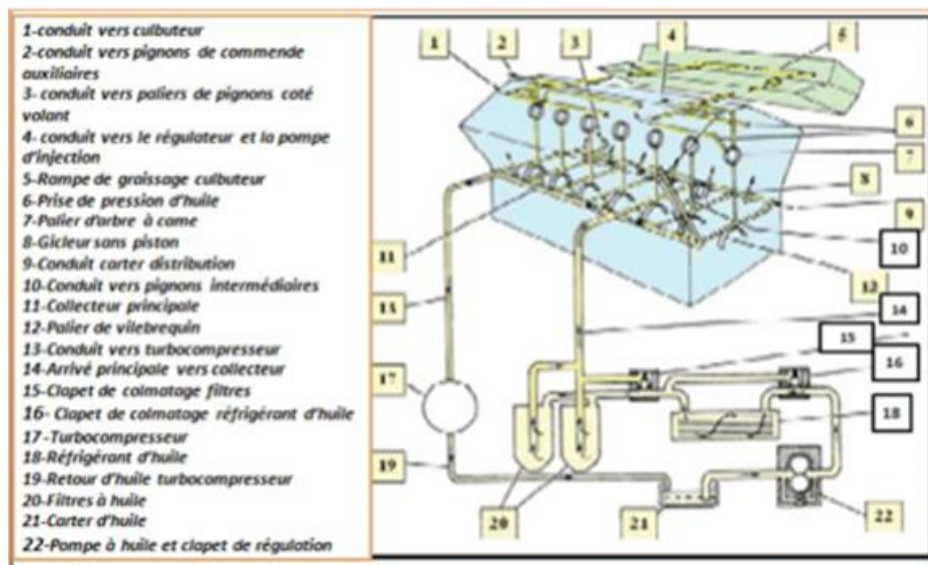


Figure 3. 28: Circuit de lubrification

### ❖ Radiateur d'huile

Le radiateur d'huile est généralement constitué d'un ensemble de tubes ou d'ailettes qui augmentent la surface de contact avec l'air ambiant ou un liquide de refroidissement. L'huile lubrifiante chaude circule à travers ces tubes ou ailettes, permettant ainsi le transfert de chaleur vers l'air ou le liquide de refroidissement qui circule autour du radiateur.

### ❖ Carter d'huile

Le carter d'huile est généralement une pièce métallique ou en alliage située en dessous du moteur ou du système mécanique. Il agit comme un réservoir qui abrite l'huile lubrifiante nécessaire pour lubrifier les différentes parties du moteur ou du système. Le carter d'huile est conçu pour contenir suffisamment d'huile afin de garantir une lubrification adéquate pendant le fonctionnement.

### ❖ Conduites d'huile

Les conduites d'huile sont généralement des tubes flexibles ou rigides fabriqués à partir de matériaux résistants à l'huile et à la pression, tels que le métal, le caoutchouc ou des matériaux composites. Elles sont conçues pour transporter l'huile sous pression ou en circulation vers les zones de lubrification requises.

## 3. Système de carburant

Le système de carburant d'un moteur est l'ensemble des composants et des processus qui permettent de fournir le carburant nécessaire à la combustion dans le moteur. Il assure l'acheminement du carburant depuis le réservoir jusqu'au moteur, en régulant son débit et sa pression.

Le système de carburant comprend généralement les éléments suivants :

- Réservoir de carburant : C'est le réservoir qui contient le carburant, qu'il s'agisse d'essence, de diesel ou d'un autre combustible.
- Pompe à carburant : Elle est responsable de l'aspiration du carburant depuis le réservoir et de son envoi vers le moteur. Dans les moteurs modernes, la pompe à carburant est généralement électrique et est située à l'intérieur du réservoir.
- Filtre à carburant : Il élimine les impuretés et les contaminants présents dans le carburant avant qu'il n'atteigne le moteur. Cela permet de protéger les composants du moteur et d'assurer un bon fonctionnement.

- Injecteurs de carburant : Ils pulvérisent le carburant sous forme de fines gouttelettes dans la chambre de combustion du moteur. Les injecteurs sont généralement commandés électroniquement pour fournir la quantité de carburant appropriée en fonction des besoins du moteur.
- Régulateur de pression de carburant : Il contrôle la pression du carburant dans le système pour assurer un débit constant et stable.
- Collecteur d'admission : Il distribue le mélange air-carburant aux cylindres du moteur, où il sera comprimé et enflammé pour produire de l'énergie.

Le système de carburant est essentiel pour le bon fonctionnement et la performance du moteur. Une alimentation en carburant adéquate, une filtration efficace et un dosage précis du carburant sont nécessaires pour assurer une combustion optimale et minimiser les émissions nocives.

Il convient de noter que les moteurs modernes, en particulier dans les véhicules hybrides ou électriques, peuvent également être équipés de systèmes de gestion électronique sophistiqués pour contrôler et optimiser le système de carburant en fonction des conditions de conduite et des exigences d'efficacité.

#### **4. Les circuits électroniques couramment présents dans les moteurs Caterpillar :**

Circuit de gestion du moteur (Engine Management System - EMS) :

- Ce circuit est responsable du contrôle global du moteur. Il surveille les paramètres du moteur tels que la vitesse, la température, la pression, les émissions, etc. et ajuste en conséquence les paramètres de fonctionnement du moteur, tels que le calendrier d'injection de carburant, l'avance à l'allumage, etc.
- Circuit d'injection de carburant électronique : Les moteurs Caterpillar modernes utilisent souvent des systèmes d'injection de carburant électroniques, tels que l'injection électronique directe (Electronic Direct Injection - EDI). Ces circuits contrôlent précisément le moment et la quantité d'injection de carburant dans les chambres de combustion pour optimiser les performances et réduire les émissions.
- Circuit d'allumage électronique : Certains moteurs Caterpillar sont équipés de systèmes d'allumage électroniques. Ces circuits contrôlent l'allumage des bougies d'allumage ou la synchronisation de l'injection de carburant dans les moteurs diesel. Ils assurent un allumage précis pour une combustion optimale et une efficacité maximale.

- Circuit de régulation de la suralimentation : Les moteurs Caterpillar turbocompressés utilisent des circuits électroniques pour réguler la pression de suralimentation du turbocompresseur. Ces circuits contrôlent la vanne de régulation de suralimentation pour optimiser la puissance du moteur et maintenir la pression de suralimentation dans les limites spécifiées.
- Circuit de gestion des émissions : Les moteurs Caterpillar doivent se conformer aux réglementations sur les émissions et sont équipés de circuits électroniques de gestion des émissions. Ces circuits surveillent les émissions du moteur et ajustent les paramètres de fonctionnement pour minimiser les émissions nocives.
- Système de diagnostic embarqué : Les moteurs Caterpillar modernes peuvent être équipés de systèmes de diagnostic embarqués. Ces circuits permettent de surveiller en temps réel les performances et les paramètres du moteur, d'identifier les codes de panne et de faciliter la maintenance et le dépannage.

Il est important de noter que les circuits électroniques spécifiques peuvent varier en fonction du modèle du moteur Caterpillar et des exigences de l'application. Les schémas électriques, les manuels de service et les informations techniques fournis par Caterpillar pour chaque modèle de moteur peuvent fournir des détails spécifiques sur les circuits électroniques utilisés.

## **V. Maintenance du moteur Caterpillare**

### **1. Les niveaux de maintenance**

La maintenance et l'exploitation d'un bien s'exercent à travers de nombreuses opérations, parfois répétitives, parfois occasionnelles, communément définies jusqu'alors en 5 niveaux de maintenance.

Le classement de ces opérations permet de les hiérarchiser de multiples façons. Ce peut être en fonction des critères suivants :

Définir qui fait quoi au regard de chacun des niveaux de maintenance :

- Le personnel de production ;
- Le personnel de maintenance en tenant compte de la qualification de l'intervenant ;
- Le personnel de l'entreprise ou un sous-traitant ;
- Une combinaison des 3.

***a) Niveau 1:***

Actions simples nécessaires à l'exploitation et réalisées sur des éléments facilement accessibles en toute sécurité à l'aide d'équipements de soutien intégrés au bien. Ce type d'opération peut être effectué par l'utilisateur du bien avec, le cas échéant, les équipements de soutien intégrés au bien et à l'aide des instructions d'utilisation.

Commentaire : Ce type d'intervention peut être effectué par l'exploitant du bien, sur place, sans outillage et à l'aide des instructions d'utilisation. Le stock de pièces consommables nécessaires est très faible.

Exemples en maintenance préventive : ronde de surveillance d'état, graissages journaliers, manœuvre manuelle d'organes mécaniques, relevés de valeurs d'état ou d'unités d'usage, test de lampes sur pupitre, purge d'éléments filtrants, contrôle d'encrassement des filtres.

Exemples en maintenance corrective : remplacement des ampoules, ajustage, remplacement d'éléments d'usure ou détériorés, sur des éléments composants simples et accessibles.

***b) Niveau 2***

Actions qui nécessitent des procédures simples et/ou des équipements de soutien (intégrés au bien ou extérieurs) d'utilisation ou de mise en oeuvre simple. Ce type d'actions de maintenance est effectué par un personnel qualifié avec les procédures détaillées et les équipements de soutien définis dans les instructions de maintenance.

Un personnel est qualifié lorsqu'il a reçu une formation lui permettant de travailler en sécurité sur un bien présentant certains risques potentiels, et est reconnu apte pour l'exécution des travaux qui lui sont confiés, compte tenu de ses connaissances et de ses aptitudes.

**❖ Commentaire**

Ce type d'intervention peut être effectué par un technicien habilité de qualification moyenne, sur place, avec l'outillage portable défini par les instructions de maintenance, et à l'aide de ces mêmes instructions.

On peut se procurer les pièces de rechange transportables nécessaires sans délai et à proximité immédiate du lieu d'exploitation.



➤ Exemples en maintenance préventive

Contrôle de paramètres sur équipements en fonctionnement, à l'aide de moyens de mesure intégrés au bien ; réglages simples (alignement de poulies, alignement pompe moteur, etc.) ; contrôle des organes de coupure (capteurs, disjoncteurs, fusibles), de sécurité, etc. ; graissage à faible périodicité (hebdomadaire, mensuelle) ; remplacement de filtres difficiles d'accès.

➤ Exemples en maintenance corrective

Remplacement par échange standard de pièces (fusibles, courroies, filtres à air, etc.) ; remplacement de tresses, de presse-étoupe, etc. ; lecture de logigrammes de dépannage pour remise en cycle ; remplacement de composants individuels d'usure ou détériorés par échange standard (rail, glissière, galet, rouleaux, chaîne, fusible, courroie,...).

**c) Niveau 3**

Opérations qui nécessitent des procédures complexes et/ou des équipements de soutien portatifs, d'utilisation ou de mise en œuvre complexes. Ce type d'opération de maintenance peut être effectué par un technicien qualifié, à l'aide de procédures détaillées et des équipements de soutien prévus dans les instructions de maintenance.

❖ **Commentaire**

Ce type d'intervention peut être effectué par un technicien spécialisé, sur place ou dans le local de maintenance, à l'aide de l'outillage prévu dans les instructions de maintenance ainsi que des appareils de mesure et de réglage, et éventuellement des bancs d'essais et de contrôle des équipements et en utilisant l'ensemble de la documentation nécessaire à la maintenance du bien ainsi que les pièces approvisionnées par le magasin.

➤ Exemples en maintenance préventive

Contrôle et réglages impliquant l'utilisation d'appareils de mesure externes aux biens ; visite de maintenance préventive sur les équipements complexes ; contrôle d'allumage et de combustion (chaudières) ; intervention de maintenance préventive intrusive ; relevé de paramètres techniques d'état de biens à l'aide de mesures effectuées d'équipements de mesure individuels (prélèvement de fluides ou de matière, etc.).

➤ Exemples en maintenance corrective

Diagnostic ; réparation d'une fuite de fluide frigorigène (groupe de froid) ; reprise de calorifuge ; remplacement d'organes et de composants par échange standard de technicité générale, sans usage de moyens de soutien communs ou spécialisés (carte automate, vérin, pompe, moteurs, engrenage, roulement, etc.) ; dépannage de moyens de production par usage de moyens de mesure et de diagnostics individuels.

**d) Niveau 4:**

Opérations dont les procédures impliquent la maîtrise d'une technique ou technologie particulière et/ou la mise en œuvre d'équipements de soutien spécialisés. Ce type d'opération de maintenance est effectué par un technicien ou une équipe spécialisée à l'aide de toutes instructions de maintenance générales ou particulières.

**❖ Commentaire**

Ce type d'intervention peut être effectué par une équipe comprenant un encadrement technique très spécialisé, dans un atelier spécialisé doté d'un outillage général (moyens mécaniques, de câblage, de nettoyage, etc.) et éventuellement des bancs de mesure et des étalons de travail nécessaires, à l'aide de toutes documentations générales ou particulières.

➤ Exemples en maintenance préventive

Révisions partielles ou générales ne nécessitant pas le démontage complet de la machine ; analyse vibratoire ; analyse des lubrifiants ; thermographie infrarouge ; relevé de paramètres techniques nécessitant des moyens de mesure collectifs (oscilloscope, collecteur de données vibratoires) avec analyse des données ; révision d'une pompe en atelier, suite à dépose préventive.

➤ Exemples en maintenance corrective

Remplacement de clapets de compresseur ; remplacement de tête de câble en BTA ; réparation d'une pompe sur site, suite à une défaillance ; dépannage de moyens de production par usage de moyens de mesure ou de diagnostics collectifs et/ou de forte complexité (valise de programmation automate, système de régulation et de contrôle des commandes numériques, variateurs, etc.).

**e) Niveau 5**

Opérations dont les procédures impliquent un savoir-faire, faisant appel à des techniques ou technologies particulières, des processus et/ou des équipements de soutien industriels. Par définition, ce type d'opérations de maintenance (rénovation, reconstruction, etc.) est effectué

par le constructeur ou par un service ou société spécialisée avec des équipements de soutien définis par le constructeur et donc proches de la fabrication du bien concerné.

➤ Exemples

Révisions générales avec le démontage complet de la machine ; reprise dimensionnelle et géométrique ; réparations importantes réalisées par le constructeur ; reconditionnement du bien ; remplacement de biens obsolètes ou en limite d'usure.

## 2. Les temps de la maintenance

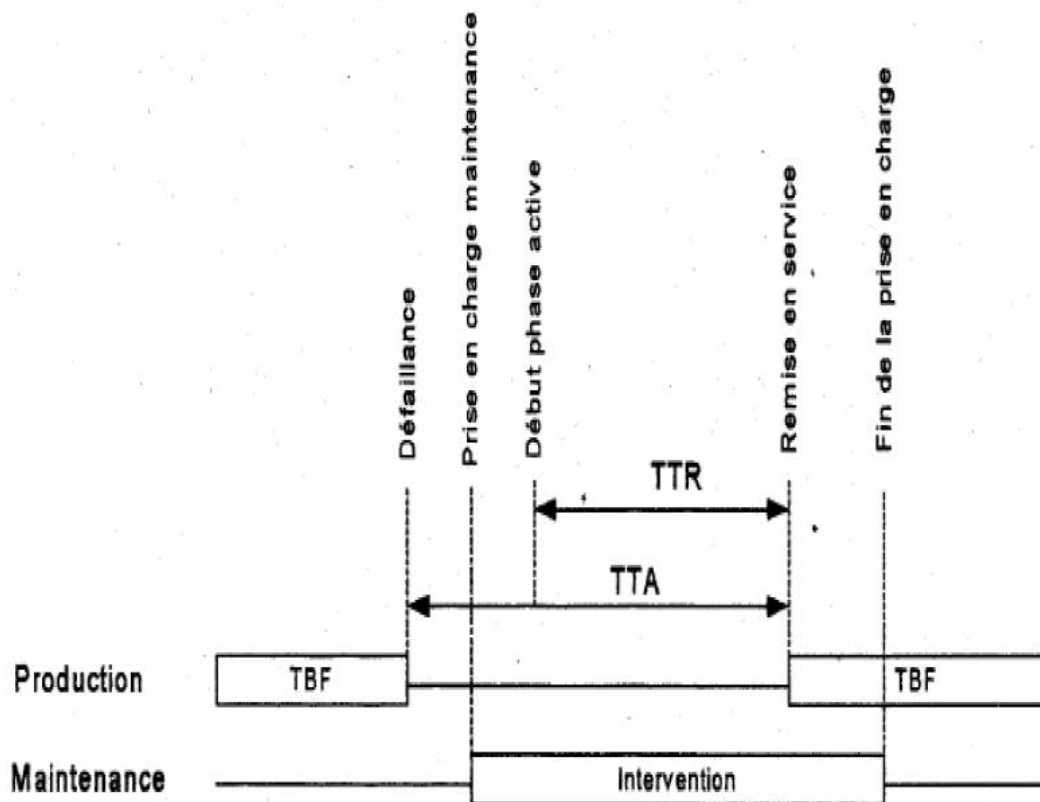


Figure 3. 29: Temps caractéristiques lors d'une intervention

a) **MTBF :**

La MTBF est la moyenne des temps de bon fonctionnement (TBF). Un temps de bon fonctionnement est le temps compris entre deux défaillances.

**Remarque :**

En anglais, MTBF signifie "mean time between failures"

b) **MTTR :**

La MTTR est la moyenne des temps techniques de réparation (TTR).

**c) TTR :**

C'est le temps durant lequel on intervient physiquement sur le système défaillant. Il débute lors de la prise en charge de ce système jusqu'à après les contrôles et essais avant la remise en service.

**d) MTTA :**

La MTTA est une moyenne des temps techniques d'arrêt (TTA).

Les temps techniques d'arrêt sont une partie des temps d'arrêt que peut connaître un système de production en exploitation. Ils ont pour cause une raison technique et, ce faisant, sont à distinguer des arrêts inhérents à la production (attente de pièce, de matière, d'énergie, changement de production, etc.)

## **VI. Etude de la fiabilité**

### **1. Introduction**

La fiabilité s'intéresse à l'ensemble des mesures à prendre pour qu'un produit, un système ou une entité fonctionne sans défaillance ou avec une fréquence de défaillance suffisamment faible pour être acceptable dans l'usage prévu. Sa conservation concerne la maintenabilité qui s'occupe de ce qu'il faut faire pour qu'un produit soit ramené dans des conditions aussi proches que possible de celles prévues au début de son fonctionnement. Le but de la fiabilité et de la maintenabilité est de garantir au client un usage prévu au coût total minimal pendant la période spécifiée, dans des conditions d'entretien et de réparation précises

### **2. Définition**

La fiabilité caractérise l'aptitude d'un système ou d'un matériel à accomplir une fonction requise dans des conditions données pendant un intervalle de temps donné "

### **3. Intérêt de l'étude de la fiabilité**

L'analyse de la fiabilité d'un système permet de modéliser et de prévoir sa durée de vie (dans le cas d'un système non réparable) ou son temps de bon fonctionnement (dans le cas d'un système réparable). La connaissance de la durée de vie d'un système ou d'un composant permet de déterminer par exemple les périodicités dans le cas d'une maintenance préventive systématique

#### 4. Objectifs et intérêt de la fiabilité en maintenance industrie

La fiabilité en maintenance industrielle a pour objectif principal d'assurer la disponibilité, la performance et la durabilité des équipements et des systèmes de production dans un environnement industriel. Voici quelques objectifs clés et intérêts de la fiabilité en maintenance industrielle :

- ❖ **Réduction des pannes** : La fiabilité vise à minimiser les défaillances et les pannes des équipements. Cela permet de prévenir les arrêts non planifiés de production, d'éviter les pertes de temps et de ressources liées aux réparations d'urgence, et de maintenir un flux de production régulier.
- ❖ **Amélioration de la disponibilité** : En mettant en place des stratégies de maintenance préventive et prédictive, la fiabilité contribue à maximiser la disponibilité des équipements. Cela permet de réduire les temps d'arrêt et d'optimiser la production.
- ❖ **Optimisation des coûts** : La fiabilité permet de réduire les coûts de maintenance en planifiant et en exécutant les activités de maintenance de manière plus efficace. En évitant les pannes coûteuses et en optimisant les intervalles de maintenance, les ressources peuvent être utilisées de manière plus économique.
- ❖ **Amélioration de la sécurité** : La fiabilité en maintenance industrielle contribue à garantir un environnement de travail sûr. Des équipements fiables réduisent les risques d'accidents liés à des défaillances et améliorent la sécurité des opérateurs et du personnel de maintenance.
- ❖ **Optimisation des performances** : La fiabilité vise à maintenir les performances optimales des équipements. Cela permet d'assurer une qualité constante des produits, d'optimiser les processus de production et d'atteindre les objectifs de performance fixés par l'entreprise.
- ❖ **Gestion des actifs** : La fiabilité en maintenance industrielle favorise une gestion efficace des actifs de l'entreprise. En surveillant les performances des équipements, en recueillant des données sur leur utilisation et en prenant des décisions éclairées sur les réparations, les remplacements et les mises à niveau, les actifs peuvent être gérés de manière proactive pour maximiser leur valeur et leur durée de vie.

## **5. La Maintenabilité**

### ***a) Définition***

La maintenabilité en maintenance industrielle se réfère à la facilité avec laquelle un équipement ou un système peut être maintenu et réparé. Elle vise à réduire les délais et les coûts de maintenance en assurant un accès facile aux composants, une documentation technique complète, des temps de réparation réduits et une formation adéquate des techniciens. La maintenabilité contribue à améliorer la disponibilité des équipements, à minimiser les temps d'arrêt et à optimiser la gestion des actifs.

À partir de ces définitions, on distingue :

- La maintenabilité intrinsèque : elle est « construite » dès la phase de conception à partir d'un cahier des charges prenant en compte les critères de maintenabilité (modularité, accessibilité, etc.).
- La maintenabilité prévisionnelle : elle est également « construite », mais à partir de l'objectif de disponibilité.
- La maintenabilité opérationnelle : elle sera mesurée à partir des historiques d'interventions.
- L'analyse de maintenabilité permettra d'estimer la MTTR ainsi que les lois probabilistes de maintenabilité (sur les mêmes modèles que la fiabilité)

## **6. La disponibilité**

### ***a) Définition***

Aptitude d'un bien à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou durant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires est assurée. Cette aptitude dépend de la combinaison de la fiabilité, de la maintenabilité et de la logistique de maintenance. Les moyens extérieurs nécessaires autres que la logistique de maintenance n'affectent pas la disponibilité du bien.

### ***b) Quantification de la disponibilité***

En maintenance industrielle, il existe différents types de disponibilité qui mesurent la capacité d'un équipement ou d'un système à être opérationnel. Voici les principaux types de disponibilité :

- ❖ **Disponibilité en temps de fonctionnement (Uptime) :** C'est la mesure de la durée pendant laquelle un équipement est en état de fonctionnement et disponible pour produire. Elle exclut les temps d'arrêt planifiés et non planifiés.
- ❖ **Disponibilité en temps de production (Availability) :** Elle mesure la proportion du temps total alloué à la production pendant lequel un équipement est effectivement en fonctionnement. Elle tient compte des temps d'arrêt planifiés, tels que les temps de maintenance préventive et les changements de production.
- ❖ **Disponibilité en temps d'exploitation (Operational Availability) :** C'est la mesure de la proportion du temps total alloué à l'exploitation, y compris les temps de production et les temps de maintenance planifiée. Elle tient compte de toutes les périodes pendant lesquelles un équipement est prêt à être utilisé, qu'il soit effectivement utilisé pour la production ou en maintenance planifiée.
- ❖ **Disponibilité en temps d'arrêt (Downtime) :** Il s'agit de la mesure du temps pendant lequel un équipement est hors service ou indisponible pour la production. Il comprend à la fois les temps d'arrêt planifiés (maintenance préventive, réparations programmées, etc.) et les temps d'arrêt non planifiés (pannes, pannes d'alimentation, etc.).
- ❖ Il est important de prendre en compte ces différents types de disponibilité pour évaluer la performance et l'efficacité des équipements, et pour planifier les activités de maintenance de manière à minimiser les temps d'arrêt non planifiés et à maximiser la disponibilité opérationnelle.

### *c) Les types de disponibilité*

#### ❖ **Disponibilité moyenne**

La disponibilité moyenne permet d'avoir une vision globale de la performance de l'équipement sur une période donnée. Une disponibilité moyenne élevée indique une bonne fiabilité et une faible fréquence de pannes, ce qui se traduit généralement par une meilleure productivité et une réduction des temps d'arrêt. Une disponibilité moyenne faible peut indiquer des problèmes de fiabilité et des besoins d'amélioration de la maintenance.

#### ❖ **Disponibilité intrinsèque**

La disponibilité intrinsèque permet d'évaluer la fiabilité fondamentale de l'équipement et de déterminer son potentiel de production continu en l'absence de contraintes externes. Une

disponibilité intrinsèque élevée indique une bonne fiabilité et une faible probabilité de défaillance, ce qui est souhaitable pour maintenir une production continue et réduire les temps d'arrêt imprévus

### ❖ **Disponibilité opérationnelle**

La disponibilité opérationnelle permet d'évaluer la performance réelle de l'équipement en prenant en compte à la fois les temps de fonctionnement et les temps de maintenance nécessaires pour maintenir sa performance optimale. Elle est utile pour évaluer l'efficacité de la planification des activités de maintenance et pour identifier les opportunités d'amélioration de la disponibilité

### **Méthode PARETO :**

Le diagramme de Pareto, également connu sous le nom de courbe ABC, est un outil de gestion de la qualité qui permet de hiérarchiser et de prioriser les problèmes ou les causes de problèmes en fonction de leur impact relatif. Il est basé sur le principe de la règle 80/20, selon lequel environ 80% des effets sont généralement dus à 20% des causes.

Le diagramme de Pareto est généralement utilisé pour identifier les problèmes les plus importants afin de concentrer les efforts d'amélioration et de résolution des problèmes sur les domaines clés.

## **VII. Diagramme causes-effet (ou ISHIKAWA ou en ARETE DE POISSON)**

La méthode 5M est une méthode d'analyse qui sert à rechercher et à représenter de manière synthétique les différentes causes possibles d'un problème. Elle fut créée par le professeur Kaoru Ishikawa (1915-1989) d'où son appellation « Méthode d'Ishikawa ». La méthode d'Ishikawa utilise une représentation graphique (diagramme) en forme de poisson pour matérialiser de manière structurée le lien entre les causes et leur effet (défaut, panne, dysfonctionnement...). Ce qui d'autre part lui a valu les appellations de « diagramme en arêtes de poisson », et « diagramme de causes à effet »

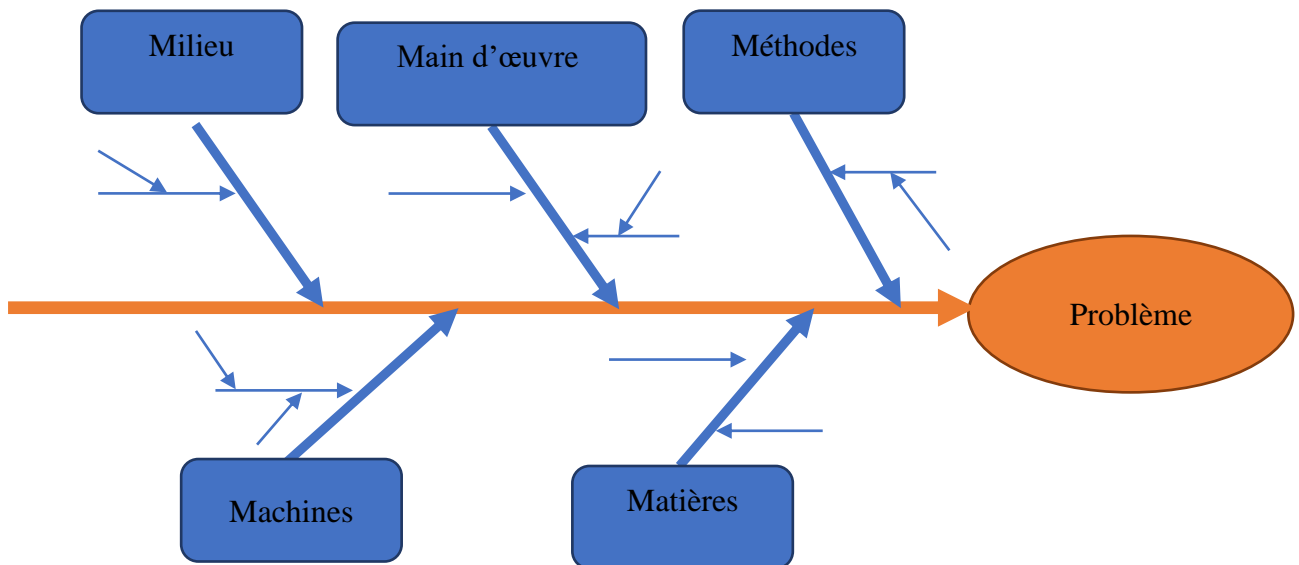
### **1. Caractéristique et démarche de la methode Ishikawa**

Ishikawa classe les différentes causes d'un problème en 5 grandes familles [Les 5M]

- Matière : Les différents consommables utilisés, matières premières.
- Milieu : Le lieu de travail, son aspect, son organisation physique.
- Méthodes : Les procédures, le flux d'information.



- Matériel : Les équipements, machines, outillages, pièces de rechange.
- Main d'œuvre : Les ressources humaines, les qualifications du personnel.



## VIII. Etude AMDEC

### 1. Présentation

L'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité) est une technique d'analyse prévisionnelle de la fiabilité, de la maintenabilité et de la sécurité des produits et des équipements. D'après AFNOR (Association française de normalisation) L'analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leur criticités (AMDEC) est une méthode inductive permettant pour chaque composant d'un système, de recenser son mode de défaillance et son effet sur le fonctionnement ou sur la sécurité du système

### 2. Les étapes de amdec

L'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) est une méthode systématique d'analyse des risques et de prévention des défaillances. Elle est largement utilisée dans les domaines de l'ingénierie, de la production et de la maintenance pour évaluer et atténuer les risques associés à un produit, un processus ou un système. Voici les étapes principales de l'AMDEC :

1. Constitution de l'équipe : Former une équipe multidisciplinaire comprenant des experts techniques, des représentants des différents départements impliqués et des personnes ayant une connaissance approfondie du produit ou du processus concerné.

2. Identification des fonctions : Identifier les fonctions du produit ou du processus et déterminer les exigences et les attentes associées.

3. Identification des modes de défaillance : Identifier tous les modes de défaillance possibles pour chaque fonction. Un mode de défaillance est une façon dont une fonction peut ne pas satisfaire à ses exigences ou peut cesser de fonctionner.

4. Évaluation des effets des défaillances : Évaluer les effets potentiels de chaque mode de défaillance sur le fonctionnement du système, la sécurité, la qualité, les performances, etc.

5. Estimation de la gravité : Évaluer la gravité des conséquences associées à chaque mode de défaillance en utilisant une échelle appropriée. Cela peut inclure des critères tels que l'impact sur la sécurité, la conformité aux réglementations, les coûts de réparation, la satisfaction du client, etc.

6. Identification des causes des défaillances : Déterminer les causes potentielles de chaque mode de défaillance. Cela peut inclure des facteurs tels que des erreurs de conception, des défauts de fabrication, des conditions d'utilisation incorrectes, des variations de processus, etc.

7. Estimation de la probabilité d'occurrence : Évaluer la probabilité que chaque mode de défaillance se produise en utilisant des informations historiques, des données de performance, des analyses statistiques, etc.

8. Estimation de la détection : Évaluer la probabilité de détecter chaque mode de défaillance avant qu'il ne provoque un effet indésirable. Cela peut inclure des inspections, des tests, des systèmes de détection, des contrôles de qualité, etc.

9. Calcul de la criticité : Calculer la criticité de chaque mode de défaillance en multipliant les évaluations de la gravité, de la probabilité d'occurrence et de la détection. La criticité est souvent exprimée à l'aide d'une échelle ou d'une matrice de risque.

10. Élaboration des actions préventives : Développer des actions préventives pour réduire ou éliminer les modes de défaillance critiques. Cela peut inclure des améliorations de conception, des modifications de processus, des formations, des plans de maintenance, etc.

11. Suivi et mise en œuvre des actions préventives : Mettre en œuvre les actions préventives identifiées et suivre leur efficacité pour s'assurer qu'elles réduisent les risques de manière adéquate.

### 3. Types d'AMDEC

L'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) est une méthodologie d'analyse utilisée en maintenance industrielle pour évaluer les défaillances potentielles d'un équipement ou d'un système, ainsi que leurs conséquences et leur criticité. Il existe différents types d'AMDEC qui peuvent être utilisés en fonction des besoins spécifiques d'une situation. Voici quelques types courants d'AMDEC.

- ✓ **AMDEC de produit (AMDEC-P)** : Cet type d'AMDEC est utilisé pour analyser les défaillances potentielles d'un produit dès sa phase de conception. Il vise à identifier les modes de défaillance possibles, leurs effets sur le produit et leur criticité. L'AMDEC-P permet de prendre des mesures préventives pour améliorer la fiabilité et la qualité du produit.
- ✓ **AMDEC de processus (AMDEC-PR)** : L'AMDEC-PR est utilisé pour analyser les défaillances potentielles d'un processus de fabrication ou d'assemblage. Il permet d'identifier les étapes critiques du processus, les modes de défaillance possibles, leurs effets sur la qualité du produit final et leur criticité. L'objectif est de mettre en place des actions correctives pour réduire les risques de défaillance du processus.
- ✓ **AMDEC de maintenance (AMDEC-M)** : Cet type d'AMDEC est utilisé pour analyser les défaillances potentielles liées à la maintenance d'un équipement ou d'un système. Il permet d'identifier les modes de défaillance possibles lors des opérations de maintenance, leurs effets sur la fiabilité de l'équipement et leur criticité. L'AMDEC-M vise à améliorer les procédures de maintenance, la planification des activités de maintenance et la gestion des pièces de rechange.
- ✓ **AMDEC système (AMDEC-S)** : L'AMDEC-S est utilisé pour analyser les défaillances potentielles d'un système complet, composé de plusieurs équipements interconnectés. Il permet d'identifier les modes de défaillance du système, leurs effets sur la performance globale et leur criticité. L'objectif est d'améliorer la fiabilité et la disponibilité du système en prenant des mesures pour prévenir les défaillances ou réduire leur impact.

### 4. La défaillance

une défaillance se produit lorsque la capacité d'un élément à accomplir une fonction requise cesse ou est altérée au point de ne plus être acceptable. Une défaillance peut résulter d'une variété de causes, telles que des défauts de conception, des erreurs de fabrication,

l'usure, des erreurs d'utilisation, des erreurs de maintenance, des conditions environnementales défavorables, etc.

Lorsqu'une défaillance se produit, l'élément ou le système ne peut plus remplir sa fonction de manière satisfaisante, ce qui peut entraîner des conséquences indésirables telles que des pannes, des accidents, des pertes de production, des dommages matériels, voire des risques pour la sécurité des personnes.

## **5. Mode de défaillance**

Un mode de défaillance est la manière dont le système peut s'arrêter de fonctionner ou fonctionner anormalement. Le mode de défaillance est relatif à chaque fonction de chaque élément. Il s'exprime en termes physiques.

Exemples : rupture, coupure d'électricité, coincement, fuite

## **6. Cause de la défaillance**

Une cause de défaillance est l'anomalie initiale pouvant conduire à la défaillance, par l'intermédiaire du mode de défaillance. La cause de défaillance d'un élément peut être interne ou externe à celui-ci. A un mode de défaillance peuvent correspondre plusieurs causes et réciproquement.

Exemples : Sous dimensionnement, manque de lubrifiant, corrosion, cavitation...

## **7. Effet de la défaillance**

L'effet d'une défaillance est, par définition, une conséquence subie par l'utilisateur. Un même mode de défaillance peut engendrer plusieurs effets simultanés qui peuvent se cumuler et s'enchaîner. De même, plusieurs modes peuvent avoir le même effet.

Exemples : arrêt de production, déficit en eau potable...etc.

## **8. Détection**

La détection est un phénomène ou paramètre physique, anomalie ou symptôme, pouvant être observé, détecté ou mesuré de manière précoce et traduisant l'apparition, la propagation ou l'évolution d'un mécanisme de défaillance

## **9. Indice de Fréquence « F »**

Il représente le risque que la cause potentielle de défaillance survienne et qu'elle entraîne le mode potentiel de défaillance considéré. De ce fait, la notion de fréquence est

relative à une combinaison cause mode. Finalement, la fréquence s'exprime par le nombre de défaillances de l'élément sur une période donnée.

### 10. Indice de Gravité «G »

Il se réfère à la gravité (ou sévérité) de l'effet de chaque défaillance, tel que ressenti par l'utilisateur. Ainsi, la notion de gravité est directement liée à l'effet de la défaillance.

### 11. Indice de Non Détection « D »

Il représente la probabilité que la cause (et/ou le mode) de défaillance supposée apparue atteigne l'utilisateur. La probabilité de non détection dépend d'une part de l'existence d'une anomalie observable de manière suffisamment précoce et d'autre part des moyens de détection mis en œuvre (ou envisagés) au moment de l'étude.

### 12. Criticité « C »

Pour chaque cause de défaillance, le produit des trois indices de fréquence, gravité et non détection est effectué.

Le résultat donne l'indice de Criticité :  $C=F \cdot G \cdot D$

### ✓ La grille de AMDEC

Tableau 3. 1: La grille AMDEC

PME		Analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leurs criticités						
Système			Date :					
N	L'élément	Fonction	Modes de défaillance	Cause	Effet	Détection	Criticité	Action
1	2	3	4	5	6	7	8	9

1 : Cette colonne permet d'inscrire le numéro de l'élément.

2 : Cette colonne permet d'inscrire la désignation de l'élément.

3 : Cette colonne permet d'inscrire la fonction réalisée par l'élément lors du fonctionnement normal.

4 : Cette colonne permet d'inscrire le mode de défaillance qui correspond à la manière dont l'élément peut être amené à ne plus assurer sa fonction.

5 : Cette colonne permet d'inscrire les causes ayant conduit à l'apparition de la défaillance du dispositif à travers le mode de défaillance de l'élément.

6 : Cette colonne permet d'inscrire les effets provoqués par l'apparition des modes de défaillance ; tels que perçus par l'utilisateur du dispositif.

7 : Cette colonne permet d'inscrire les modes de détection qui sont les signes provoqués par l'apparition de la défaillance, sans qu'elle n'ait encore générée l'apparition de conséquences.

8 : Ces colonnes permettent d'inscrire la valeur de la criticité C, calculée à partir de l'estimation des indices F, G et D.

9 : Cette colonne permet d'inscrire l'ensemble des mesures correctives décidées par le groupe de travail, pour éliminer les points critiques .

### ✓ Tableau les indices de défaillance

Tableau 3. 2: Les indices de défaillance

INDICE	VALEUR	INDICE DE DÉFAILLANCE
<b>Indice de fréquence F</b>	1	Défaillance pratiquement inexistante
	2	Défaillance rarement apparue (un défaut par ans)
	3	Défaillance occasionnellement apparue. (Un défaut par trimestre)
	4	Défaillance fréquemment apparue (un défaut par mois)
<b>Indice de Gravité G</b>	1	Défaillance mineure : aucune dégradation notable du matériel .
	2	Défaillance moyenne = une remise en état de courte durée .
	3	Défaillance majeure = une intervention de longue durée. Où Non-conformité du produit, constatée dans l'entreprise et corrigée.
	4	Défaillance catastrophique = une grande intervention où Non-conformité du produit, constatée par un clientaval (interne à l'entreprise).
<b>Indice de non détection D</b>	1	Défaillance mineure
	2	IDéfaillance significative
	3	Défaillance majeure
	4	Défaillance critique

### 13. Démarche Pratique de l'AMDEC

La démarche pratique de l'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) peut être divisée en plusieurs étapes clés. Voici une démarche générale pour réaliser une AMDEC de manière pratique :

- ✓ **Constitution de l'équipe** : Réunissez une équipe multidisciplinaire comprenant des experts techniques, des spécialistes en maintenance, des opérateurs et toute personne ayant une connaissance approfondie du système à analyser.
- ✓ **Identification des fonctions et des modes de défaillance** : Définissez clairement les fonctions principales du système ou de l'équipement et identifiez les différents modes de défaillance potentiels qui pourraient compromettre ces fonctions. Considérez les défaillances passées, les connaissances d'experts, les normes et les retours d'expérience.
- ✓ **Évaluation des causes et des effets** : Pour chaque mode de défaillance identifié, déterminez les causes possibles et les effets associés. Analysez les mécanismes qui pourraient conduire à la défaillance et évaluez l'impact sur les performances du système, la sécurité des personnes, l'environnement, etc.
- ✓ **Estimation de la criticité** : Évaluez la criticité de chaque mode de défaillance en combinant la probabilité d'occurrence, la gravité des conséquences et la capacité de détection précoce. Utilisez des échelles ou des matrices de criticité pour classer les modes de défaillance en fonction de leur importance.
- ✓ **Définition des actions préventives et correctives** : Identifiez les actions préventives et correctives appropriées pour réduire la probabilité d'occurrence des défaillances, atténuer les effets néfastes et améliorer la détection précoce des défaillances. Priorisez les actions en fonction de la criticité des modes de défaillance.
- ✓ **Mise en œuvre des actions** : Mettez en place les actions définies, en assignant les responsabilités et en définissant les échéances. Assurez-vous que les actions sont réalisables et suivez leur mise en œuvre.
- ✓ **Suivi et amélioration continue** : Surveillez régulièrement les performances du système, effectuez des inspections périodiques, recueillez des données sur les défaillances et les pannes, et utilisez ces informations pour mettre à jour et améliorer l'AMDEC au fil du temps.

Il est important de noter que la démarche de l'AMDEC peut varier en fonction du contexte et des besoins spécifiques de l'organisation. La précision et l'exhaustivité des informations recueillies, ainsi que la collaboration et l'implication de l'équipe, sont essentielles pour obtenir des résultats fiables et prendre des décisions éclairées en matière de maintenance et de gestion des risques.

## IX. Exploitation de l'historique

L'historique de panne

Le traitement des données brutes de l'historique ( tableau suivant )

### 1. Statistique des nombres des pannes de moteur CAT 3512 AU COURS DE 9 ANS D APRE L'HISTORIQUE

Tableau 3. 3: Statistique des nombres des pannes de moteur

Sous-Élément	Éléments	Nombres des Pannes	Fréquence F	Nombre des Pannes Totale
<u><b>Système de Bloc-cylindres</b></u>	Piston	2	1	<b>10</b>
	Vilebrequin	1	1	
	Soupapes	3	1	
	Culasse	2	1	
	Des joints du culasse	2	1	
<u><b>Système de Refroidissement</b></u>	Pompe à eau	2	1	<b>15</b>
	Thermostat	4	1	
	Conduit de refroidissement	9	2	
<u><b>Élément de circuit de gestion de commande</b></u>	Capteur	4	1	<b>23</b>
	Calculateur	8	2	
	Actionneur	11	3	
<u><b>SYSTEME LUBRIFICATION</b></u>	Pompe a huile	8	2	<b>65</b>
	Radiateur	8	2	
	Filtre a huile	13	3	
	Carter a huile	13	3	
	Conduite a huile	8	2	
	Bouchons de vidange	10	2	
	gauge huile	15	3	
<u><b>SYSTEME DE CARBURANT</b></u>	Reservoir	26	4	<b>163</b>
	Regulateur	11	3	
	Les injecteurs du carburant	30	4	



	Pompe a carburant	30	4	
	Filtre a carburant	28	4	
	Conduite a carburant	20	4	
	Capteur de temperature	20	4	
	Capteur de pression	9	2	

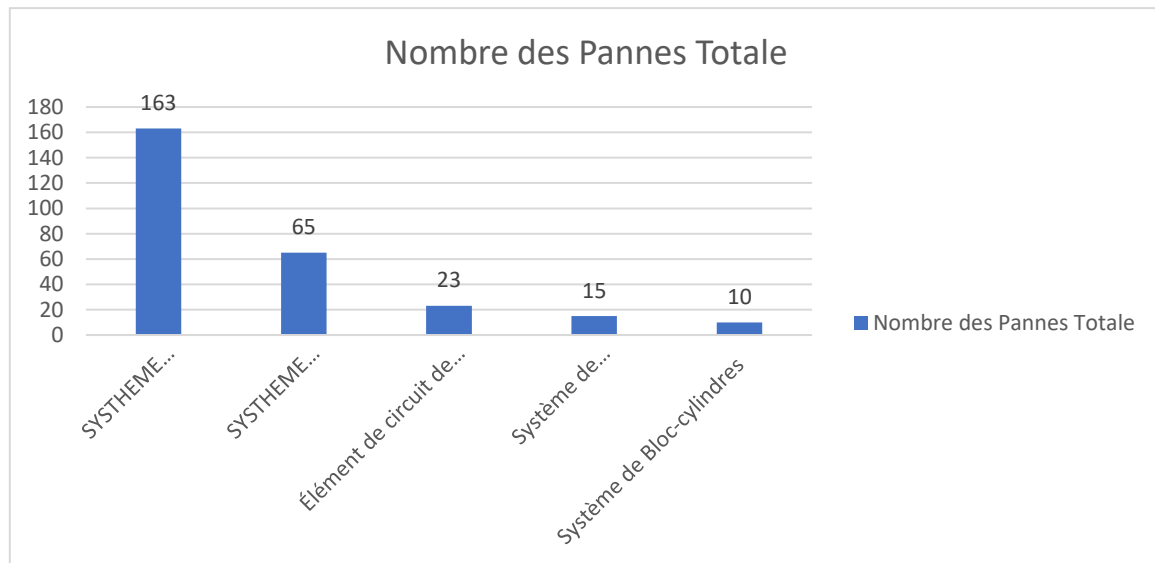


Figure 3. 30: diagramme des éléments critiques

## INTERPERTATION

Nous remarquons que Par l'analyse du diagramme de la situation la plus critique dans le SYSTEME DE CARBURANT ET LE SYSTEME DE LIBRIFICATION, qui sont les plus vulnérables aux défaillances. De plus, nous remarquons le reste des composants ont des proportions variables des pannes.

### 2. Etude de diagramme de Pareto « ABC (Pareto )»

Tableau 3. 4: le nombre de pannes accumulées

N°	Sous Élément	Nombre de pannes	Cumule de pannes	% des pannes cumulées
1	Système Carburant	163	163	59.06
2	Système lubrification	65	228	82.60
3	Circuit du Gestion de commande	23	251	90.94
4	Système de refroidissement	15	266	96.38
5	Bloc cylindre	10	276	100

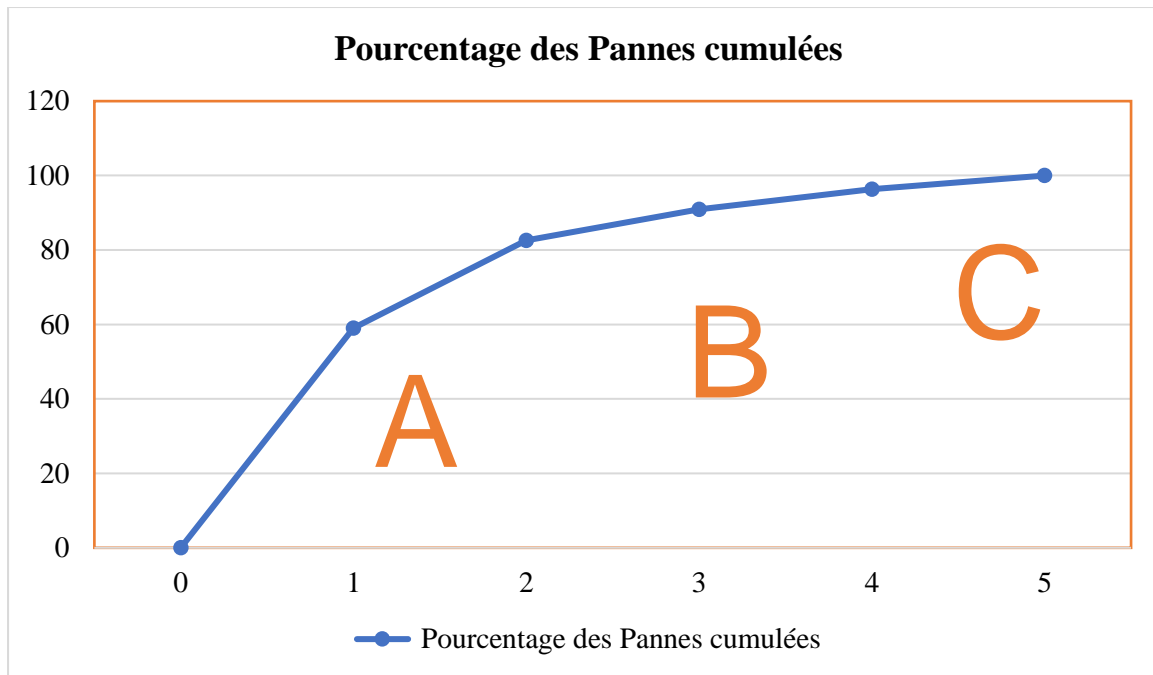


Figure 3. 31: diagramme de Pareto

**La zone A :** nous montre que 45,6 % des sous-ensembles occasionnent 82,6% des pannes ; il s'agit des équipements : Système de carburant et système de lubrification donc une attention particulière devrait être réservée à cette zone.

**La zone B :** Ensuite nous avons la blague B qui indique 53,2% des sous-ensembles sont à l'origine de 13,78% des panne ; il s'agit de Système du refroidissement et Circuit de la gestion de commande.

**La zone C :** En fin nous avons la zone C constituée de Circuit bloc cylindre représente mais occasionnant seulement 3,62% des pannes

**NB :** Après avoir réalisé un diagramme de Pareto, qui permet de classer les problèmes par ordre d'importance, vous avez identifié que le système de carburant et le système de lubrification sont plus critiques que les autres systèmes. Cela signifie que ces deux systèmes ont un impact significatif sur la performance globale du moteur et nécessitent une attention particulière pour garantir leur bon fonctionnement.

Le système de carburant est crucial car il fournit le carburant nécessaire à la combustion du moteur. Tout problème ou dysfonctionnement dans ce système peut entraîner une mauvaise combustion, une perte de puissance, une augmentation de la consommation de carburant, voire des dommages aux composants internes du moteur. Par conséquent, il est essentiel de surveiller régulièrement le système de carburant, de vérifier l'état des filtres à

carburant, de s'assurer que les injecteurs fonctionnent correctement et de respecter les intervalles de remplacement recommandés pour les différents composants.

Le système de lubrification est également critique car il assure la lubrification des pièces en mouvement, réduisant ainsi l'usure et la friction entre elles. Un mauvais système de lubrification peut entraîner une augmentation de l'usure, des frottements excessifs, une surchauffe des composants et une diminution de la durée de vie du moteur. Il est donc essentiel de surveiller régulièrement le niveau et la qualité de l'huile, de s'assurer que les filtres à huile sont propres et efficaces, et de respecter les intervalles de vidange d'huile recommandés.

Pour ces deux systèmes critiques, il est recommandé de mettre en place un programme de maintenance préventive rigoureux. Cela peut inclure des inspections régulières, des remplacements planifiés des filtres, des vidanges d'huile régulières, des tests de performance, et des analyses d'échantillons d'huile pour détecter toute contamination ou détérioration précoce. En prenant soin de ces systèmes critiques, vous pouvez maximiser la fiabilité et les performances de votre moteur Caterpillar et réduire les risques de pannes ou de défaillances coûteuses..

### **3. Recherche des causes racines (Diagramme Ishikawa)**

Après l'étude du graphe de Pareto, nous avons cherché à comprendre pourquoi les pannes de ces trois sous-ensembles sont énormes. Ce qui nous ont conduits à l'étude du diagramme d'Ishikawa.

Pour tenter de surpasser notre problème, il faut connaître toutes les causes qui peuvent lui donner naissance à savoir „les cinq Matériels, Matières, Méthode, Main-d 'œuvre et Milieu, Pour déduire les causes.

Le matériel :

- vibration
- détérioration.
- fuites
- Rupture usure.

La matière :

- Qualité d'huile.

- Qualité de lubrification.

La méthode :

- Manque de maintenance préventive.
- Programmes de maintenance non conformes.
- Manque d'information concernant.
- Maintenance curative inefficace.

La main d'œuvre:

- L'opérateur mal formé.
- Manque de documentation.

Le milieu :

- Condition climat.
- La poussière.
- Types de terrain.

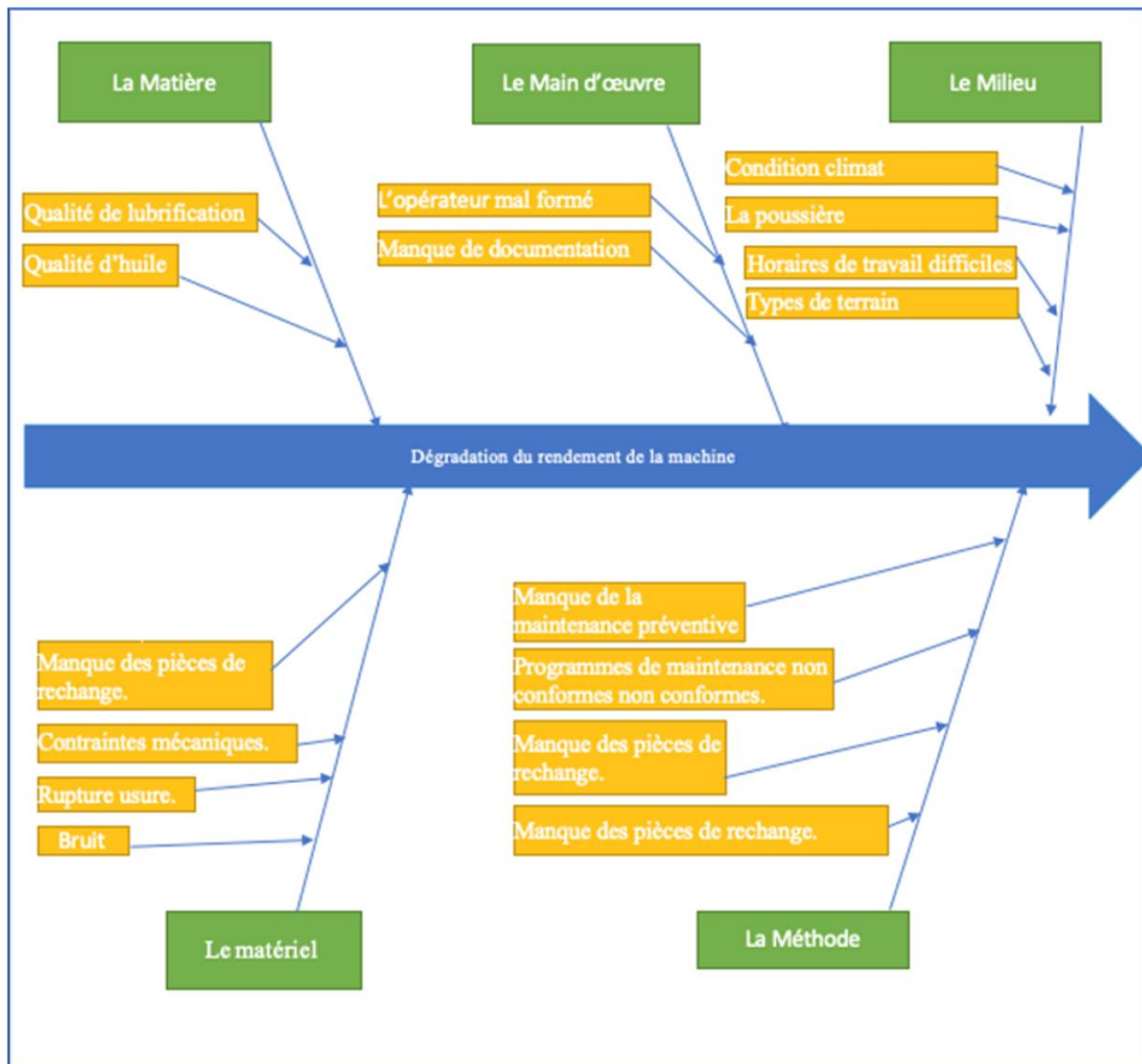


Figure 3. 32: diagramme cause effet

### ✓ Interprétation du Diagramme Ishikawa

Matiels les moteurs sont générale utilisées dans un mauvaise condition movaise gressage mauvaise réglage Les fuites de filtre à carburant et d'injecteurs de carburant peuvent avoir plusieurs effets néfastes sur le système de carburant d'un moteur.

#### ▪ Les fuites

Diminution des performances : Les fuites de filtre à carburant ou d'injecteurs de carburant peuvent entraîner une diminution des performances du moteur. Les fuites peuvent provoquer une perte de pression dans le système de carburant, ce qui peut affecter la quantité de carburant injectée dans les cylindres. Cela peut entraîner une perte de puissance, des accélérations lentes, des ratés d'allumage ou une réponse au gaz insuffisante.

Consommation de carburant accrue : Les fuites de filtre à carburant et d'injecteurs de carburant peuvent entraîner une mauvaise vaporisation du carburant. Cela signifie que le carburant peut ne pas être correctement pulvérisé dans les cylindres, ce qui entraîne une combustion incomplète. Une combustion inefficace entraîne une augmentation de la consommation de carburant, car une partie du carburant n'est pas utilisée de manière optimale.

#### ▪ **Vibration**

Les vibrations d'un moteur se réfèrent aux mouvements oscillatoires ou aux oscillations non désirées qui se produisent lors de son fonctionnement.

Dans ce cas Les vibrations excessives d'un radiateur d'huile peuvent entraîner plusieurs effets indésirables, notamment :

1. Dommages structurels : Les vibrations intenses peuvent endommager la structure du radiateur d'huile, notamment les fixations, les supports et les connexions. Cela peut entraîner des fuites d'huile, une détérioration de l'efficacité de refroidissement et même une défaillance complète du radiateur.

2. Usure prématurée : Les vibrations constantes peuvent provoquer une usure prématurée des composants internes du radiateur d'huile, tels que les ailettes, les tubes et les plaques. Cela peut entraîner une réduction de l'efficacité de refroidissement et une surchauffe du moteur ou d'autres systèmes qui dépendent de l'huile refroidie

#### ▪ **L'usure**

L'usure mécanique d'un soupape fait référence à l'usure progressive des surfaces de contact entre les composants mécaniques lorsqu'ils sont soumis à des forces, des mouvements et des conditions d'utilisation répétés. C'est un processus naturel qui se produit avec le temps et peut avoir un impact sur les performances, la durabilité et la fiabilité des machines et des équipements.

#### ▪ **détérioration**

La détérioration peut être causée par divers facteurs, tels que l'usure normale due à l'utilisation, des conditions de fonctionnement sévères, un manque d'entretien, des contraintes excessives, des contraintes thermiques, des vibrations, des contaminants, des défauts de conception ou des erreurs de fabrication. dans ce cas on a la détérioration de la pompe à huile montre des risques de pannes du moteur : Si la détérioration de la pompe à huile n'est pas traitée, elle

peut éventuellement entraîner des pannes graves du moteur. Une lubrification insuffisante peut provoquer une usure accrue des composants internes, des frottements excessifs et des dommages importants. Dans les cas extrêmes, cela peut entraîner une défaillance complète du moteur, nécessitant des réparations coûteuses voire un remplacement complet

#### ▪ **Matier**

Pour ce qui concerne la matière, , la qualité de lubrifiant et qualité de minerai sont facteurs pénibles sur la rentabilité de la machine. L'utilisation d'une mauvaise huile et d'une lubrification inadéquate peut avoir plusieurs effets néfastes sur les composants et le fonctionnement d'une machine. Voici quelques effets courants d'une mauvaise huile et d'une mauvaise lubrification : de ce qui mène

Diminution de l'efficacité de refroidissement : L'huile joue un rôle crucial dans le refroidissement des composants mécaniques en dissipant la chaleur. Une mauvaise huile ou une lubrification insuffisante peut entraîner une diminution de l'efficacité de refroidissement, ce qui peut provoquer une surchauffe des composants et des problèmes associés tels que la dilatation excessive, la déformation ou même la fusion des pièces.

Augmentation de la friction et de l'usure par frottement : Une lubrification inadéquate peut entraîner une augmentation de la friction entre les surfaces en contact, ce qui génère une chaleur excessive et une usure accélérée. Cela peut provoquer des problèmes tels que des vibrations, des bruits anormaux et une détérioration des surfaces de contact.

Réduction des performances et augmentation de la consommation de carburant : Une mauvaise huile ou une lubrification inadéquate peut entraîner une diminution des performances globales de la machine, y compris une baisse de puissance, une diminution de l'efficacité énergétique et une augmentation de la consommation de carburant.

**Milieu** : Le milieu poussiéreux est le facteur majeur qui augmente les temps d'indisponibilité. La poussière énorme est due au fait que la machine ne dispose pas un dispositif de poussière. Alors il Ya quelques procédures que nous pouvons établir pour diminuer les pannes au minimum parmi eux :

- Nettoyer périodiquement le moteur de la poussière et les rouleaux et les tambours ;

- Une tentative de ne pas augmenter les heures de travail, en fonction du climat.

**Main d'oeuvre :** L'absence de formation et le problème de qualification des employés sont des problèmes majeurs qu'il faut impérativement résoudre. Il y'a également un manque de documentation et l'absence de procédure d'intervention rend les tâches plus difficiles.

**Méthode :** Le manque d'information sur l'état de la machine ainsi l'inefficacité de la maintenance curative rend la tâche des maintenances difficiles.



#### 4. Application AMDEC

Date de l’analyse :		AMDEC MACHINE					Phase de fonctionnement				Action corrective
		Système		Sous-ensemble							
Sous-Élément	Élément	Fonction	Mode	Cause	Effet	Détection	Criticité				
							F	G	N	C	
Système de lubrification	Radiateur d'huile	Radiateur d'huile pour refroidir l'huile	Dommages physiques	Déformation	de vibrations excessives	sonomètre	2	2	2	8	Changement
	Pompe à huile	Responsable de la circulation de l'huile	Problèmes de joints d'étanchéité	Pompe à huile peuvent se détériore	, réduit la quantité d'huile disponible	Visuel	2	3	3	18	Changement
	Carter d'huile	Le filtre à huile retient les contaminants	Corrosion	Fuite huile	La corrosion peut affaiblir la structure du carter	Visuel	3	2	2	12	Changement
	Conduites d'huile	Les conduites d'huile acheminent l'huile de lubrification	Endommagement physique	Déformation des conduites	Des températures élevées	Visuel	2	2	3	12	Changement
	Bouchons de vidange	Permettent de vidanger l'huile	Filetage endommagé	Bouchon de vidange peut se desserrer,	Le serrage adéquat du bouchon difficile	Visuel	2	1	1	2	Changement

	Jauge d'huile	La jauge est utilisée pour mesurer le niveau d'huile	Dysfonctionnement de la sonde	La sonde de la jauge d'huile peut se corroder	Une mauvaise mesure	Visuel	3	1	2	6	Changement
Système de carburant	Réservoir	Stockage du carburant	Le réservoir de carburant peut développer des fuites	En raison de fissures	Une diminution de la performance globale.	Visuel	4	4	2	32	Changement
	Régulateur	Contrôle du débit de carburant	Problèmes de calibration	Une calibration incorrecte du régulateur	Une consommation excessive de carburant.	Visuel	3	3	2	18	Changement
	Les injecteurs de carburant	Fonctionnent en ouvrant et en fermant des valves	Fuite de carburant	Défauts au niveau de l'injecteur	Une diminution de la pression de carburant	Visuel	4	2	2	16	Changement
	Pompe a CARBURANT	La pompe à carburant aspire le carburant du réservoir	Perte de pression	Des fuites au niveau des joints	Une diminution de la puissance du moteur	Visuel	4	4	4	64	Changement
	Filtre carburant	Protection des injecteurs de carburant	Fuite	Les joints du filtre à carburant peuvent se détériorer	Des risques de sécurité	Visuel	4	4	4	64	Changement
	Conduite de carburant	Transport du carburant	Les conduites de carburant peuvent se bouche	L'accumulation de dépôts de saleté	Des problèmes de démarrage	Visuel	2	2	2	8	Changement

	Capture du température	Mesurer la température du carburant	Défaillance du capteur	Une lecture incorrecte	Fausser les informations transmises au calculateur	Visuel	2	2	1	4	Changement
	Capteur de pression de carburant	Mesurer la pression du carburant	Défaillance du capteur	Absence de lecture de la pression	Des ajustements inappropriés des paramètres de fonctionnement	Visuel	2	2	4	16	Changement
Circuit de gestion de commande	Capteur	Réguler le mélange air-carburant	Défaillance électrique	Des connexions lâches	Une perte de signal	Visuel et multimètre	1	4	2	8	Changement
	Calculateur du moteur ECM	Contrôle de la puissance	Défaillance électronique	S erreurs de programmation	Une mauvaise régulation du moteur	Visuel	2	4	2	16	Changement
	Actionneur	Responsables de l'ouverture et de la fermeture des injecteurs de carburant.	Défaillance de communication	Une perte de synchronisation	Des problèmes de connectivité,	Visuel	3	2	2	12	Changement
Système de refroidissement	Pompe a eau	Circulation du liquide de refroidissement	Fuite de liquide de refroidissement	Des joints d'étanchéité défectueux	Une surchauffe du moteur.	Visuel	1	3	3	9	Changement

	Thermostat	Contrôle de la température	Surchauffe du moteur	Pompe à eau défectueuse	Des fuites de liquide de refroidissement.	Visuel	1	2	2	4	Changement
	Conduite de refroidissement	Transport du liquide de refroidissement	Fuites	Usure excessive de la conduite	Perte de liquide de refroidissement	Visuel	2	2	2	8	Changement
Système du Bloc-cylindres	Piston	Compression du mélange air-carburant	Usure excessive	Réduit l'efficacité de la combustion	Une diminution de la compression	Visuel	1	2	3	6	Changement
	Vilebrequin	Transformation du mouvement linéaire en mouvement rotatif	Fissures ou cassures	Des charges excessives	Des cassures dans le vilebrequin.	Visuel	1	2	2	4	Changement
	Soupape	Admission d'air frais	Usure des sièges de soupape	En raison du frottement	Mauvaise étanchéité entre la soupape et le siège une.	Visuel	1	2	2	4	Changement
	Culasse	Passage des fluide	Usure des guides de soupapes	Des bruits de cliquet	Une perte de puissance du moteur	Visuel	1	2	2	4	Changement

## X. Synthèse de la criticité

A partir du tableau AMDEC a on hiérarchisé les défaillances selon le seuil de la criticité ;les éléments dont la criticité atteint le seuil demande des actions corrective ,ainsi ceux qui ont la gravité et la 1 ;2 ;3 ;4 doivent entrainer une action corrective de conception même si la criticité n'atteint pas le seuil fixé

$1 < c < 16$  : Maintenance corrective ;EX changement d'accouplement ;serrage de système

$16 < c < 32$  : Surveillance particulière maintenance préventive conditionnelle et pièces de rechange Associées

$32 < c < 64$  : Remise en cause complète de la conception recherche d'amélioration

Tableau 3. 5: évaluation de la criticite

Niveau de criticité	Elements	Criticité	Action corrective
<b><math>1 &lt; c &lt; 16</math></b>	Vilebrequin	4	Maintenance corrective
	Soupapes	4	
	Culasse	4	
	Piston	6	
	Thermostat	4	
	Conduite de refroidissement	8	
	Bouchons de vidange	2	
	Gauge d'huile	6	
	Radiateur d'huile	8	
	Capteur de température	16	
	Pompe a eau	9	
	Capteur de pression	16	
	Calculateur	16	
	Actionneur	12	
	Carter d'huile	12	
	Conduite d'huile	12	
	Conduite de carburant	8	
	Injecteur du carburant	16	

<b>16&lt;c &lt; 32</b>	Pompe d' huile régulateur Réservoir	18 18 32	-Amélioration de performance de l'élément -Maintenance Préventive systématique
<b>32&lt;c&lt;64</b>	Pompe a carburant  Filtre a carburant	64  64	Remise en cause complète de conception Recherche d'amélioration

## **XI. Plan de maintenance préventive des élément critique :**

*Tableau 3. 6: Plan de maintenance recommandé*

<b>L'ELEMENT</b>	<b>ACTION DE MANTENANE</b>	<b>INTERVALLES DES TEMPS</b>
<i>RADIATEUR</i>	Surveillance des niveau d huile	A chaque utilisateur
<i>POMPE A HUIL</i>	Vérification des engrenages	Chaque mois
<i>CARTER D HUIL</i>	Vérification l'état de carter des joints et des connexion	Chaque mois
<i>CONDUITE D HUIL</i>	Vérifier l'étanchéité de la conduite d'huile	Chaque mois
<i>BOUCHANS DE VIDANGE</i>	Contrôle des filetages	Chaque utilisateur
<i>JAUGE D HUIL</i>	Vérification l'état du joint du jauge	Chaque moins
<i>RESERVOIRE</i>	Surveillance niveau de carburant	Chaque utilisateur
<i>REGULATEUR</i>	Vérification du fonctionnent calibrage	Chaque moins
<i>LES INJECTEUR DE CARBURANT</i>	Vérifier du l étanchéité	Chaque mois
<i>POMPE A CARBURANT</i>	Contrôle le débit de carburant	Chaque mois
<i>FILTRE A CARBURANT</i>	Inspection régulier	Chaque moins
<i>Conduite a carburant</i>	Identification le blocage	Chaque mois
<i>POMPE A EAU</i>	Remplacent des joints des pièces défectueuses	Toute les 100 heures de fonctionnement
<i>THERMOSTAT</i>	Test de thermostat	Chaque moins
<i>CONDUITE DE REFROIDISSEMENT</i>	Inspection du conduit	Chaque moins
<i>CAPTEUR</i>	Vérification alimentation électrique	Chaque moins
<i>ACTIONNEUR</i>	Teste de communication	Chaque utilisateur
<i>CALCULATEUR</i>	Vérification électrique	Chaque utilisateur

<i>PISTON</i>	Rectification ou remplacement du piston	Chaque année
<i>VILBREQUIN</i>	Réparation du soudage	Chaque année
<i>SOUPAPE</i>	Rectification des sièges de soupape	Chaque année
<i>CULASSE</i>	Examiner attentivement la culasse	Chaque année

## XII. Elaboration du plan de maintenance préventive

Quelques opérations a effectuer

Codes temporaire des opération a effectuer

A :opération a réaliser chaque jour avant le démarrage

B :opération a réaliser chaque semaine

C :opération a réaliser chaque mois

D :opération a réaliser chaque trimestre

E :opération a réaliser chaque semestre

Tableau 3. 7: des opérations

A	B	C	D	E	Opération
x		x			Vérifier niveau d'huile de graissage
		x			Vérifier pompe d'huile
		x			Vérification et nettoyage des conduite d'huile
				x	Inspecter le carter d'huile
			x		Changement d'huile régulier
		x			Surveillance des indicateurs de température
		x			Nettoyage du réservoir de carburant
	x				Controler les échangeur de chaleur
	x				Vérifier pompe a eau
x					Contrôle le système de refroidissement

## XIII. RECOMMANDATION

L'optimisation des coûts de temps pour un moteur Caterpillar peut être réalisée par différentes mesures et pratiques de gestion. Voici quelques stratégies qui peuvent contribuer à cette optimisation :

Maintenance préventive : Mettez en place un programme de maintenance préventive rigoureux pour le moteur. Cela comprend des inspections régulières, des vidanges d'huile et de liquide de refroidissement selon les recommandations du fabricant, le remplacement des

filtres à air, à carburant et à huile, et la vérification des composants critiques. En effectuant une maintenance préventive régulière, vous pouvez éviter les défaillances coûteuses et les temps d'arrêt non planifiés.

Utilisation de pièces d'origine : Utilisez des pièces de rechange d'origine Caterpillar ou des pièces de qualité équivalente. Les pièces d'origine sont spécifiquement conçues pour s'adapter et fonctionner de manière optimale avec le moteur Caterpillar, ce qui garantit une performance fiable et réduit le risque de défaillance prématurée.

Formation et compétences du personnel : Assurez-vous que votre équipe de maintenance est bien formée et possède les compétences nécessaires pour entretenir et réparer correctement le moteur Caterpillar. Des techniciens qualifiés et bien formés peuvent diagnostiquer et résoudre les problèmes plus rapidement, ce qui réduit les temps d'arrêt et les coûts associés.

Surveillance et analyse des performances : Utilisez des systèmes de surveillance en temps réel pour suivre les performances du moteur. Cela peut inclure la surveillance des paramètres clés tels que la température, la pression, les vibrations, les niveaux de liquide, etc. En analysant les données recueillies, vous pouvez détecter rapidement les problèmes émergents, prendre des mesures correctives précoces et éviter les pannes majeures.

Optimisation de la planification : Établissez une planification efficace pour les opérations impliquant le moteur Caterpillar, telles que les périodes d'utilisation, les intervalles de maintenance et les arrêts programmés. En optimisant la planification, vous pouvez minimiser les temps d'arrêt non productifs et maximiser la disponibilité du moteur.

Gestion de l'approvisionnement en pièces et en matériel : Assurez-vous d'avoir un approvisionnement en pièces de rechange et en matériel adéquat pour le moteur Caterpillar. Cela permet d'éviter les retards dans les réparations et les remplacements, réduisant ainsi les temps d'arrêt et les coûts associés.

En mettant en œuvre ces stratégies, vous pouvez optimiser les coûts de temps associés à la maintenance, à la réparation et à l'utilisation du moteur Caterpillar. Cela se traduit par une plus grande disponibilité de la machine, une réduction des temps d'arrêt non planifiés et des coûts opérationnels plus faibles.



## **Conclusion**

L'objectif principal de ce chapitre vise en particulier l'amélioration de la maintenance préventive et curative du moteur Caterpillare ; c'est pour cette raison, nous avons effectué une analyse critique de l'état actuel de la machine par la méthode AMDEC puis un classement basé sur la criticité des éléments qui sont analysés est réalisé et seul l'élément les plus critique étant suivi par des actions des maintenances péventive

## Conclusion générale

A la fin de notre projet de la fin d'étude portant sur la maintenance des moteurs à diesel nous allons présenter le bilan du travail que nous avons effectué.

Les pannes des moteurs ne peuvent pas échouer, mais peut être contrôlées par une maintenance bien organisée, pour améliorer les conditions de travail et minimisé le coût de réparation puisqu'elle va rester le moteur toujours en marche et éviter l'arrêt complète des moteurs.

Nous avons commencé notre mémoire par une généralité sur les moteurs thermiques.

Ensuite, nous avons mentionné les pannes mécaniques et les pannes électriques d'un moteur à diesel et leurs symptômes et leurs causes et les conséquences.

A la fin de cette mémoire nous avons faire une analyse fonctionnelle d'un moteur à diesel par les méthodes d'analyse : la bête à cornes et analyse descendante et liens inter fonctionnelle et la pieuvre et après, nous avons faire une étude des défauts critiques d'un moteur à diesel par la méthode ISHIKAWA pour découvrir les causes possibles des pannes a partir de la deuxième chapitre.

Et à la fin nous avons dessiné le diagramme PARETO, pour mettre en évidence les pannes du moteur à diesel pour déterminer les plus critique

Les résultats de l'analyse l'AMDEC peuvent être exploités pour appliquer un plan de maintenance avec une périodicité limité suivant les conditions de travail et l'évaluation de l'état de dégradation de la machine.

# Liste bibliographique

- **Caterpillar Inc. "Caterpillar Performance Handbook." Caterpillar Inc., 2020.**
  - **Caterpillar Inc. "Caterpillar Diesel Engines Application and Installation Guide." Caterpillar Inc., 2019.**
  - **Caterpillar. "Official Caterpillar Website." <https://www.cat.com/>. Accessed on 2015.**
  - **Society of Automotive Engineers (SAE) International. "SAE Technical Papers." <https://www.sae.org/publications/technical-papers/>. Accessed on 2016**
  - **Site internet : [www.labonnepompe.com](http://www.labonnepompe.com)**
- ✓ **[www.entp.com](http://www.entp.com)**
- **Documentation dans l'entreprise ENTP, titre catalog technique 2008**