

**Université de Gafsa**  
**Institut Supérieur des Sciences Appliquées et de Technologie de GAFSA**  
**Département Mécanique**



**Amélioration du système de maintenance**

**Pour les moteurs d'un bus Mercedes**

**OM457 hLA**

Présenté et soutenu par :

**Bochra CHARFI**

En vue de l'obtention de

**Mastère management de la maintenance industrielle**

Sous la Direction de :

**Dr.Imed MIRAOUI**

Soutenu le 07/06/2023

Devant le jury composé de :

**Président : Mme. Ghazoua HAMZA**

**Rapporteur :Dr.Wadhah SOUA**

**Membres :Dr.Imed MIROAUI**

**2022/2023**

## *Dédicace :*

Au nom du dieu tout puissant et miséricordieux et louange à ALLAH

Je dédie ce modeste travail

A mon père Aroussi et ma mère Khira pour leurs amours  
inconditionnels, leurs bontés, leurs sacrifices, leurs encouragements  
perpétuels, leurs soutiens. Aucune dédicace ne serait exprimé le  
respect que j'ai pour eux.

Puisse dieu prolonger leurs vies dans le bonheur.

A mes frères Alaa, Abdallah, Atef.

A tous mes amis sans exception.

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

## *Remerciements*

Je remercie tout d'abord le tout puissant **ALLAH** de m'avoir donné la force et le courage de mener jusqu'à la fin ce travail.

A Mon Encadreur **Mr. MIRAOUI IMED**

Veillez bien monsieur recevoir mes remerciement pour le grand honneur que vous m'avez fait d'accepter l'encadrement de ce travail.

Vos qualités pédagogiques et humaines sont pour moi un modèle.

Votre compétence, votre encadrement ont toujours suscité mon profond respect. Je vous remercie pour votre accueil et vos conseils. Veuillez trouvez ici, l'expression de mes gratitude et de ma grande estime.

### **Aux membres du jury**

Messieurs les jurys, vous nous faites un grand honneur en acceptant de juger ce travail.

Je dois un remerciement à tous les enseignants de L'ISSAT pour leurs qualités scientifiques et pédagogiques

## Sommaire

<b>Chapitre I: Présentation de la société SRTGN .....</b>	<b>3</b>
<b>I.1 Introduction : .....</b>	<b>4</b>
<b>I.2 Définition de la société : .....</b>	<b>4</b>
<b>I.3 Fiche de signalétique : .....</b>	<b>4</b>
<b>I.4 Historique : .....</b>	<b>5</b>
<b>I.5 Objectif : .....</b>	<b>5</b>
<b>I.6 Le capital : .....</b>	<b>6</b>
Evolution du capital : .....	6
Répartition du capital : .....	6
<b>I.7 Lignes : .....</b>	<b>6</b>
<b>I.8 Organigramme des directions de la S.R.T.G.N : .....</b>	<b>7</b>
<b>I.9 Les Actions de sécurité : .....</b>	<b>7</b>
<b>I.10 Conclusion : .....</b>	<b>8</b>
<b>Chapitre II : Généralité sur les moteurs à combustion interne et étude du moteur diesel OM457 hLA9</b>	
<b>II.1 Introduction: .....</b>	<b>10</b>
<b>II.2 Définition : .....</b>	<b>10</b>
<b>II.3 Développement chronologique du cycle de moteur : .....</b>	<b>11</b>
<b>II.4 Propriétés du moteur à combustion interne : .....</b>	<b>11</b>
<b>II.5 Principe de fonctionnement : .....</b>	<b>11</b>
<b>II.6 Moteurs thermiques à allumage par compression (moteur Diesel) : .....</b>	<b>12</b>
II.6.1 Historique de moteur Diesel : .....	12
II.6.2 Principe du Moteur Diesel : .....	12
II.6.3 Principe de fonctionnement : .....	12
II.6.4 Cycles Théoriques du moteur à quatre temps : .....	13
II.6.5 Avantages et inconvénients du moteur diesel : .....	14
II.6.6 Etude du moteur diesel de bus Mercedes-Benz OM457hLA : .....	14
II.6.7 Description et principe de fonctionnement : .....	15
II.6.8 Description des organes du moteur bus Mercedes Benz OM457 hLA: .....	16
II.6.9 Les principaux circuits : .....	20
<b>II.7 Conclusion : .....</b>	<b>29</b>
<b>Chapitre III : Maintenance du moteur bus Mercedes OM457 hLA et leur méthode utilisé (AMDEC, Pareto, Ishikawa) .....</b>	<b>30</b>
<b>III.1 Introduction : .....</b>	<b>31</b>
<b>III.2 Définition de la maintenance : .....</b>	<b>32</b>
<b>III.3 Objectifs de la maintenance : .....</b>	<b>32</b>

<b>III .4</b>	<b>Quelque définitions et paramètres relatifs à la maintenance :</b>	<b>33</b>
	La maintenabilité :	33
	La disponibilité :	34
<b>III .5</b>	<b>Les types de maintenance :</b>	<b>34</b>
III.5.1	Graphe de différentes formes de maintenance :	34
III.5.2	La maintenance préventive :	34
III.5.3	La maintenance corrective :	37
<b>III.6</b>	<b>Les niveaux de la maintenance :</b>	<b>37</b>
<b>III .7</b>	<b>La politique de la maintenance :</b>	<b>39</b>
<b>III .8</b>	<b>Les méthodes de maintenance :</b>	<b>39</b>
III.8.1	Méthode d'analyse prévisionnelle « ABC (Pareto)» :	40
III.8.2	Méthode ISHIKAWA :	40
III.8.3	Méthode AMDEC :	41
<b>III .9</b>	<b>Conclusion :</b>	<b>49</b>
<b>Chapitre IV : Application des méthodes : PARETO, ISHIKAWA, AMDEC au moteur</b>		
<b>bus Mercedes OM457 hLA</b>		<b>50</b>
<b>IV .1</b>	<b>Introduction :</b>	<b>51</b>
<b>IV .2</b>	<b>Etude de cas :</b>	<b>51</b>
IV.2.1	Etude du diagramme de Pareto :	53
<b>IV .3</b>	<b>Elaboration du plan de maintenance préventive :</b>	<b>63</b>
<b>IV .4</b>	<b>Plan de maintenance préventive des éléments critique :</b>	<b>64</b>
	Recommandation :	64
<b>IV .5</b>	<b>Conclusion :</b>	<b>65</b>

## Liste de figures

<b>Figure 1 : Bus de la SRTGN</b>	<b>6</b>
<b>Figure 2 : Principe fonctionnement du moteur diesel à 4 temps [3]</b>	<b>13</b>
<b>Figure 3 : Vue éclater d'un moteur Diesel (OM457 hLA)</b>	<b>15</b>
<b>Figure 4 : Bloc moteur</b>	<b>16</b>
<b>Figure 5 : La culasse</b>	<b>16</b>
<b>Figure 6 : Le joint de culasse</b>	<b>17</b>
<b>Figure 7 : Les carters</b>	<b>17</b>
<b>Figure 8: Le piston</b>	<b>18</b>
<b>Figure 9 : La bielle</b>	<b>18</b>
<b>Figure 10 : vilebrequin</b>	<b>19</b>
<b>Figure 11 : L'arbre à came</b>	<b>19</b>
<b>Figure 12 : Les coussinets</b>	<b>19</b>
<b>Figure 13 : Les soupapes</b>	<b>20</b>
<b>Figure 14 : Les culbuteurs</b>	<b>20</b>
<b>Figure 15 : Circuit de combustible de l'alimentation du moteur diesel [3]</b>	<b>21</b>
<b>Figure 16 : Réservoir de carburant</b>	<b>21</b>
<b>Figure 17 : Pré filtre</b>	<b>22</b>
<b>Figure 18 : Le filtre</b>	<b>22</b>
<b>Figure 19 : Pompe d'injection</b>	<b>23</b>
<b>Figure 20 : Circuit de lubrification</b>	<b>23</b>
<b>Figure 21 : La pompe à huile [9]</b>	<b>24</b>
<b>Figure 22 : Refroidissement par eau [6]</b>	<b>26</b>
<b>Figure 23 : Radiateur</b>	<b>27</b>
<b>Figure 24: Ventilateur</b>	<b>28</b>
<b>Figure 25 : Pompe à eau</b>	<b>28</b>
<b>Figure 26 : Thermostat</b>	<b>28</b>
<b>Figure 25 : Objectifs de la maintenance [11]</b>	<b>33</b>
<b>Figure 28 : Différentes formes de maintenance [11]</b>	<b>34</b>
<b>Figure 29 : Schématisation de la maintenance préventive [11]</b>	<b>35</b>
<b>Figure 30 : Diagramme Causes/Effets</b>	<b>40</b>
<b>Figure 31 : La démarche AMDEC</b>	<b>42</b>
<b>Figure 32 : Vue sur le moteur bus Mercedes BENZ OM457 hLA</b>	<b>51</b>
<b>Figure 33 : Diagramme de PARETO</b>	<b>54</b>
<b>Figure 34 : Diagramme d'ISHIKAWA</b>	<b>56</b>
<b>Figure 35 : Diagramme d'ISHIKAWA sur le circuit d'injection</b>	<b>57</b>
<b>Figure 36 : Diagramme d'ISHIKAWA sur le circuit de lubrification</b>	<b>57</b>
<b>Figure 37 : Diagramme d'ISHIKAWA sur le circuit de refroidissement</b>	<b>58</b>

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1 : les niveaux de le maintenance</b>	<b>39</b>
<b>Tableau 2 : Les quatre questions de base de l'AMDEC</b>	<b>42</b>
<b>Tableau 3: Grille de cotation de la Détection (D) [18]</b>	<b>47</b>
<b>Tableau 4 : Grille de cotation de la Fréquence (F) [18]</b>	<b>47</b>
<b>Tableau 5 : Grille de cotation de la Gravité(G) [18]</b>	<b>48</b>
<b>Tableau 6 : Facteur d'évaluation de criticité [18]</b>	<b>48</b>
<b>Tableau 7 : Notice descriptive du moteur OM457 hLA</b>	<b>52</b>
<b>Tableau 8: Nombre et heures de pannes de sous-ensemble</b>	<b>53</b>
<b>Tableau 9 : Cumul des heures des pannes en pourcentage</b>	<b>54</b>
<b>Tableau 10 : AMDEC</b>	<b>60</b>
<b>Tableau 11 : Evaluation de la criticité</b>	<b>62</b>
<b>Tableau 12 : Des opérations</b>	<b>63</b>
<b>Tableau 13 : Plan de maintenance recommandé</b>	<b>64</b>

## **Introduction générale :**

L'entreprise est un ensemble de moyens matériels, humains et financiers qui sont mis à la disposition d'une personne morale dite entreprise, l'objectif fondamental d'une entreprise économique consiste à créer des richesses et de réaliser des gains selon le secteur d'activité.

De nos jours, nous vivons dans un monde qui se développe sans cesse. Les nouveautés scientifiques installent sur le marché une concurrence rude. Dans un tel milieu, pour exister, il faut avoir les moyens de fournir au client la qualité qu'il veut, lorsqu'il le désire mais surtout au moindre coût possible.

Incorporé dans le cout de revient des biens fabriqués, la maintenance a des effets difficilement appréciables

La maintenance représente un moyen d'éviter des pertes irrécupérables en matière de productivité et donc de richesse, ainsi elle joue un rôle très important dans le domaine de transport qui tolère difficilement l'erreur.

Pour assurer ce but, "S.R.T.G.N" à utilisé plusieurs méthodes de sureté de fonctionnement parmi ses méthodes : la méthode PARETO, ISHIKAWA, "AMDEC" qui a pour but d'évaluer et de garantir la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité des machines.

L'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance et leurs Effets de Criticité) est méthodes d'optimisation de la maintenance qui est utilisé pour l'étude de sureté de fonctionnement lors de la conception et de l'exploitation des systèmes industriels, elle rend le système fiable tout en diminuant le nombre de pannes.

Notre travail consiste à appliquer la méthode PARETO, ISHIKAWA, AMDEC sur le moteur bus Mercedes BENZ OM457 hla de la Société Régionale de Transport du Gouvernorat de Nafta, pour mener à bien notre travaille on a organisé notre mémoire en quatre (4) chapitres :

- ❖ Le premier chapitre : est consacré à la présentation de l'environnement de travail, il nous donne une idée globale sur "S.R.T.G.NAFTA".
- ❖ Le deuxième chapitre : présent une généralité sur les moteurs à combustion interne, étude et description du moteur diesel de bus Mercedes BENZ OM457 hLA avec toutes ses composantes principales et auxiliaires, son



principe de fonctionnement est ses différentes classes.

Le troisième chapitre : dans le quel nous avons détaillé les types et les méthodes de maintenance ainsi que ses opérations. et les principaux concepts de la méthode PARETO, ISHIKAWA, AMDEC et les différentes étapes pour son application.

Le quatrième chapitre : on va faire une description de notre moteur et présenter son historique d'intervention et appliquer la méthode AMDEC, PARETO, ISHIKAWA sur le moteur bus Mercedes BENZ OM457 hLA et donner un plan corrective.

# **Chapitre I : Présentation de la société SRTGN**

## **I.1 Introduction :**

Avant de cerner un problème et surtout pour avoir une approche systématique dans sa réalisation, une connaissance de son environnement est une étape inéluctable. Comme S.R.T.G.N à bien voulu être le cadre du présent stage, sa présentation fait l'objet de mieux connaître ces départements et leurs fonctionnements

## **I.2 Définition de la société :**

La Société régionale de transport du gouvernorat de NAFTA ou SRTGN est une société publique tunisienne de transport en commun créée le 22 juillet 1961.

Elle assure le transport des voyageurs dans les gouvernorats de NAFTA et TOZUR et de ces gouvernorats vers la région de GAFSA, vers le Sahel (gouvernorats de Sousse, Monastir et Mahdia)

## **I.3 Fiche de signalétique :**

1) Nom	: Société régionale de transport du gouvernorat de Nafta
2) Raison social	: SRTG
3) Raison juridique	: société publique à caractère industriel et commercial
4) Date de création	: 22 Juillet 1961 avec un capital initial
5) Capital social	: 3 million de dinars 3000000 DT
6) Activité	: Transport de voyageurs dans les gouvernorats de NAFTA
7) Adresse	: Rue El Bayadha
8) Tél	: 72287000 Fax : 72285929
9) E-mail	: SRTGN@planet.tn
10) Part de marché	: 60 %
11) Effectif	: 700

## **I.4 Historique :**

La société régionale du transport du gouvernorat de Nafta « SRTGN » est une société anonyme et semi étatique (SASE) ; elle a été créée le 22 juillet 1961 sous la dénomination initiale « société nationale du Cap Bon ».

L'activité principale était au départ le transport public des voyageurs et des marchandises, mais depuis la restructuration du secteur de transport intervenir à la cour du huitième plan de développement national, l'activité de la S.R.T.G.N a été limitée au transport public des voyageurs.

C'est le 22 juillet 1961 qu'est fondée la « Société nationale du Cap Bon » avec un capital initial de 18 500 dinars tunisiens. Sa mission est d'assurer le transport des voyageurs et des marchandises dans le gouvernorat de Nafta. Le 1er août 1962, le capital s'accroît à 100 000 dinars et le nom est changé en « Société régionale de transport du Cap Bon ». Le capital passe de 200 000 dinars en 1978 à 300 000 dinars en 1979, 500 000 dinars en 1982, 700 000 dinars en 1984 puis 1 000 000 dinars en 1985.

Le 8 octobre 1987, la société prend en charge le transport des voyageurs dans le gouvernorat voisin de TOZEUR. Au début de l'année 1988, la décision est prise de séparer l'activité de transport de marchandises de celle des voyageurs en deux entités distinctes. En 1989, la Société régionale de transport du Cap Bon devient la « Société régionale de transport du gouvernorat de NAFTA ».

L'année 1992 marque un tournant avec l'exploitation pour la première fois des « bus confort » sur la ligne entre Tunis et NAFTA. En 1995, le capital de la société passe à trois millions de dinars.

La SRTGN reçoit en 2001 la certification ISO 9002, version 1994, pour son activité de transport de voyageurs sur la « ligne confort » NAFTA-TUNIS (ligne 102) ; elle est la première société tunisienne de transport à recevoir une telle certification. La certification ISO 9001, version 2000, est obtenue le 25 avril 2007 pour son activité de transport de voyageurs sur les lignes directes confort et le développement de nouvelles lignes directes confort.

## **I.5 Objectif :**

La SRTGN est une société semi étatique qui joue d'une part un rôle social par le transport scolaire et un rôle commercial d'autre part pour pouvoir rémunérer ses charges et générer

ainsi des résultats positifs. Ce qui a fait de la SRTGN l'une des meilleures sociétés tunisiennes en matière de transport de voyageurs.



**Figure 1 : Bus de la SRTGN**

## **I.6 Le capital :**

### **Evolution du capital :**

La S.R.T.G.N a été créée avec un capital social initial de 18500 DT lors de sa création et a passer à 300000 DT depuis sa dernière évolution qui a été lieu le 22 juin 1995.

### **Répartition du capital :**

Ce capital est réparti sur 600000 actions dont 53 % sont détenus par les collectivités locales du gouvernorat de Nafta et 47 % par le privé.

## **I.7 Lignes :**

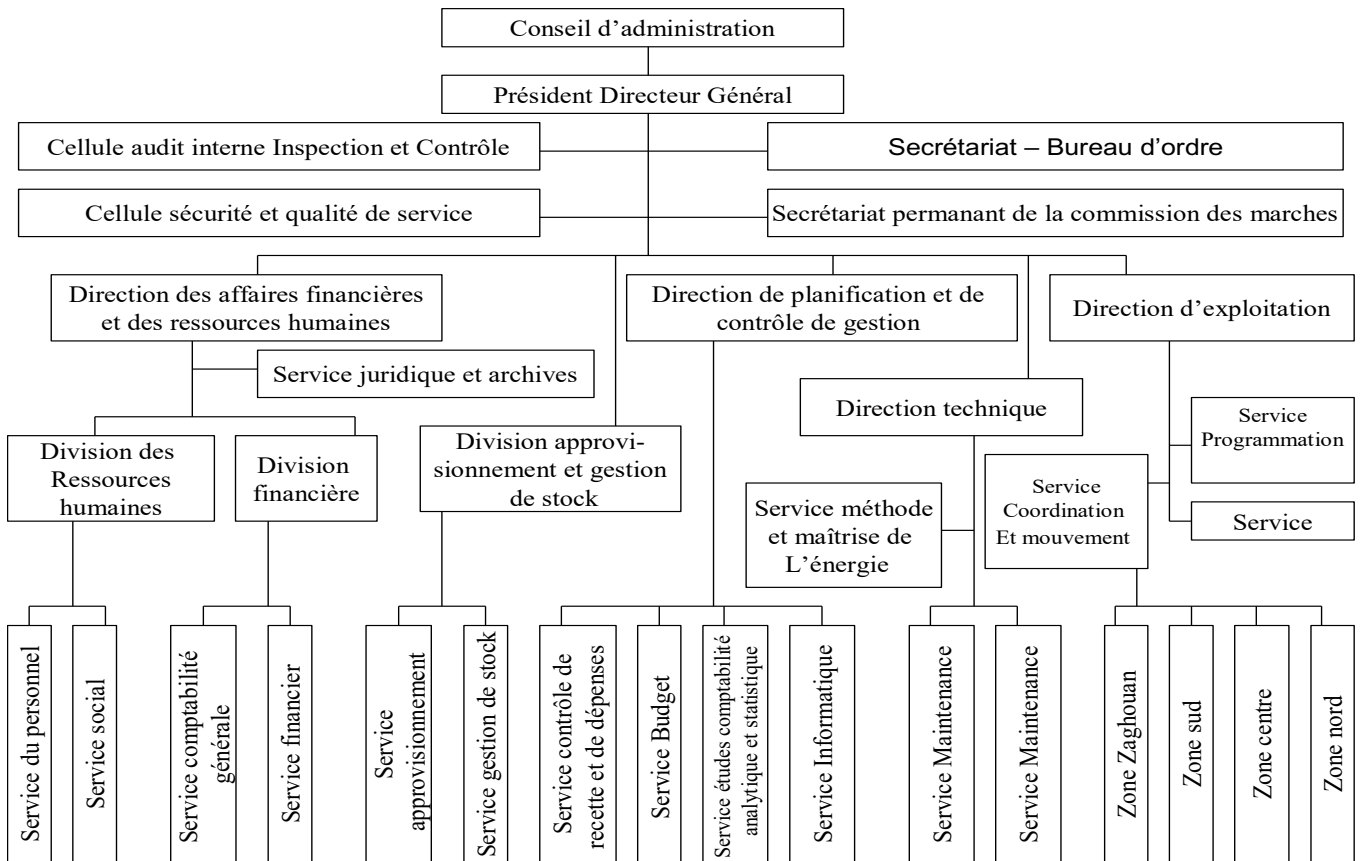
- ⇒ 101 : Nafta - Tozeur
- ⇒ 102 : Nafta - Gafsa
- ⇒ 104 : Nafta - Sfax
- ⇒ 105 : Nafta- Sousse
- ⇒ 115 : Nafta - Gabes

⇒ 120 : Nafta– Sidi bouzid

⇒ 140 : Nafta- Monastir

## I.8 Organigramme des directions de la S.R.T.G.N :

L'organigramme ci-joint se présente comme suit :



## I.9 Les Actions de sécurité :

De sa part, la SRTGN veille à la sécurité des passagers et des biens en mettant en place des actions et des procédures de sécurité qui sont principalement les suivantes :

### A. Sur le Plan Personnel :

#### ❖ Formation des chauffeurs :

La SRTGN organise semestriellement des réunions sectorielles aux profit de son personnel roulant, et ceci pour les inciter aux respect de la code de la route et la sécurité routière, à travers ces réunions des statistiques, des spots et des conseils sont publiés et ces réunions sont animées par des membres de l'Association Nationale de Prévention Routière

La SRTGN organise des séances de formation pour son personnel roulant en matière de conduite économique et rationnel, conduite défensive, sécurité routière et premiers secours, et ceci à travers des bureaux de formation spécialisés

#### ❖ **Formation du personnel technique :**

De même pour son personnel technique sur les thèmes de maintenances technique et des nouvelles technologies de diagnostic et de climatisation par des bureaux spécialisés.

Pour les cas des incendies, le personnel de la SRTGN a suivi des séances de formation et des opérations blanches en matière d'extinction des feux et d'utilisation des extincteurs

#### **B. Sur le plan Equipement :**

**-Suivi de la maintenance préventive :** La SRTGN a mis des règles et des procédures pour s'assurer qu'aucun véhicule ne soit utilisé sans avoir effectué tous les contrôles techniques nécessaires que ce soient systématiques ou curatifs.

**-Brigade mobile de sécurité sur route :** La SRTGN a mis en place des procédures pour contrôler le comportement des chauffeurs sur la route à travers la brigade mobile de sécurité

#### **C. Sur le plan Environnement :**

Pour améliorer la communication externe et la relation avec son environnement directe, la SRTGN organise des campagnes de sensibilisation systématiquement au profit de ses clients, ces campagnes vise à donner des conseils et des informations sur les horaires pour les clients à travers des dépliants, on constate par exemple : Les campagnes de convivialité en mois de Ramadan (clients ordinaires)

Des campagnes de sensibilisation à chaque rentrée scolaire et de protection des bus scolaires (élèves et étudiants) Les dépliants, les horaires etc...

#### **I.10 Conclusion :**

A la fin de ce chapitre, on présente une idée bien claire sur le patrimoine et le fonctionnement de la S.R.T.G.N.

**Chapitre II : Généralité sur les moteurs à  
combustion interne et étude du moteur diesel  
OM457 hLA**



## **II.1 Introduction:**

La propulsion du véhicule est habituellement obtenue au moyen de moteur, à savoir dispositifs mécaniques capables de convertir l'énergie chimique d'un combustible en énergie mécanique. L'énergie chimique du combustible est d'abord convertie en chaleur par la combustion, puis la chaleur est convertie en travail mécanique. En effet, la chaleur produite par la combustion augmente la pression ou le volume spécifique, et grâce à son expansion, le travail mécanique est obtenu. Aujourd'hui, Les moteurs à combustion interne se sont imposés comme moyen de production d'énergie dominant dans le marché mondial, spécialement dans le domaine de transport, et les moteurs diesel sont considérés comme l'un des principales sources de propulsion. Cela est dû aux améliorations substantielles de ces moteurs, l'essentiel est l'amélioration du rendement et la réduction des émissions polluantes. Des avantages remarquables vers le développement des moteurs diesel plus propres a été accompli, ces dernières années, en suivant plusieurs techniques, tel que par exemple l'utilisation du système d'injection moderne, comme moyen de contrôle de l'injection du combustible, la recirculation des gaz, le turbocompresseur .... etc.

## **II.2 Définition :**

Le moteur à combustion interne est une machine motrice qui sert à convertir de l'énergie emmagasinée dans un carburant (Pouvoir Calorifique) en une énergie thermique (Chaleur, Enthalpie, Energie Calorifique), puis en une énergie mécanique (Travail Mécanique, Couple). Dans les moteurs à combustion interne, la production de l'énergie thermique se fait dans un volume fermé (Chambre de Combustion, cylindre moteur) confiné par la culasse, les soupapes fermées, la tête du piston et la chemise. La détente des gaz produits par la combustion du carburant actionne des organes actifs (Piston-Bielle-Manivelle) qui récupèrent cette énergie pour la convertir en travail utile (Arbre moteur).

D'un point de vue purement académique, le moteur à combustion interne et la combustion constituent deux interfaces de recherche touchant aussi bien le domaine expérimental que théorique. En effet, l'industrie liée au design et à l'architecture du moteur, ainsi que la combustion regroupent des motoristes, des ingénieurs en construction mécanique, des énergéticiens, des métallurgistes en plus des chimistes et des physiciens. Beaucoup de spécialités telles que l'électronique, la commande et le contrôle ainsi que l'informatique industrielle se sont immiscées dans l'industrie de l'automobile et du moteur à combustion avec l'apparition de l'injection électronique et des calculateurs. Ceci grâce à la gestion

électronique du moteur par BUS-CAN proposée par BOSCH vers 1980, appliquée sur des moteurs Mercedes en 1982 et généralisée dans toute l'Europe en 2000. [1]

### **II.3 Développement chronologique du cycle de moteur :**

- 1860 : Cycle de Lenoir : Lenoir propose un moteur à deux temps avec piston à double effet, la pression agissant à chaque demi-tour sur l'une des faces du piston
- 1862 : Cycle de Beau de Rochas : Beau de Rochas propose un moteur à quatre temps la même année Otto (Allemagne) réalise le moteur à quatre temps.
- 1892 : Cycle Diesel : Diesel dépose un brevet sur un moteur à allumage par compression Son moteur commencera à fonctionner avec une injection d'huile lourde. [1]

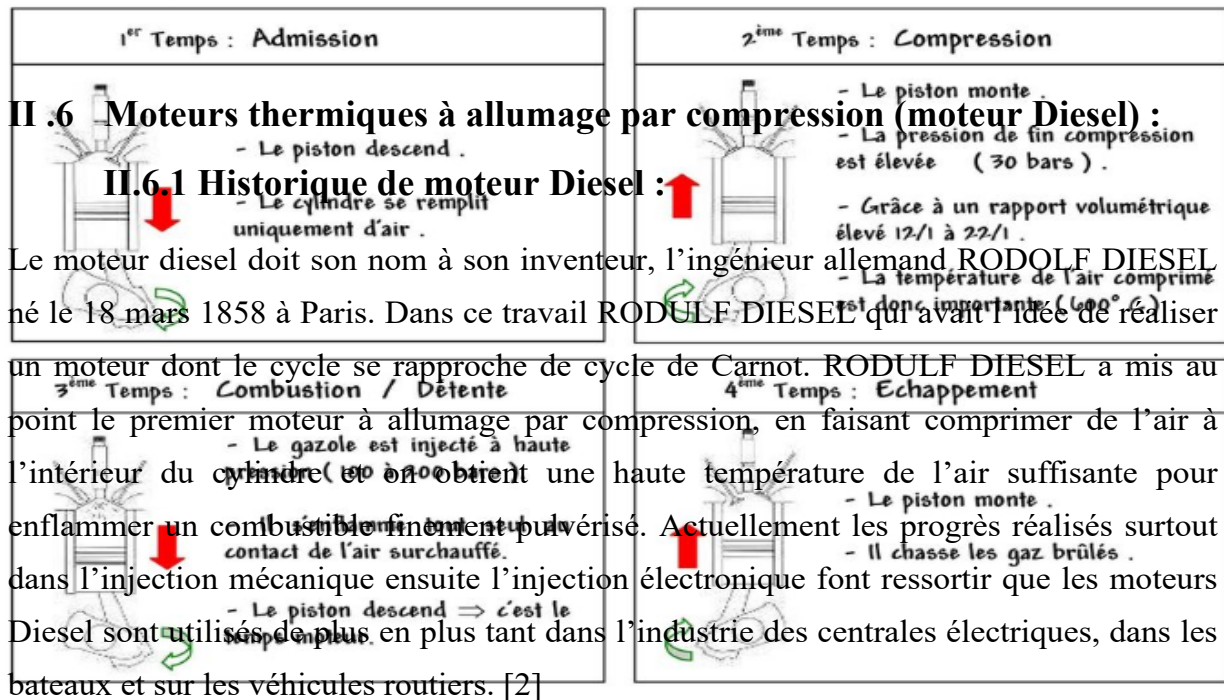
### **II.4 Propriétés du moteur à combustion interne :**

Le moteur à combustion interne est caractérisé par :

- Un taux de compression faible pour les moteurs à essence (8 à 10) ; plus élevé (pour le moteur diesel)
- Une préparation du mélange du combustible (carburateur)
- Un allumage du mélange combustible en fin de compression
- Une combustion produisant des polluants NO<sub>2</sub> CO
- Un diamètre du cylindre compris entre mm et 200 mm maximum [1]

### **II.5 Principe de fonctionnement :**

Le carburant très finement atomisé est mélangé à l'air pour former un mélange combustible qui est introduit dans le cylindre. Cette introduction correspond à l'opération d'admission. A ce stade d'introduction dans la bouteille, le mélange gazeux est à basse pression. S'il est allumé à ce moment, il ne peut faire qu'un travail insuffisant et doit d'abord être comprimé : c'est l'opération de compression. Le mélange enflammé se dilate ensuite en convertissant la force du moteur en mouvement de rotation sur l'arbre du moteur par l'intermédiaire d'un mécanisme bielle-manivelle. Enfin, les gaz brûlés doivent être expulsés avant que le nouveau mélange frais n'entre dans le cylindre : c'est l'opération d'échappement. Ces opérations sont ensuite répétées dans le même ordre pour former un cycle moteur [1]



## II.6 Moteurs thermiques à allumage par compression (moteur Diesel) :

### II.6.1 Historique de moteur Diesel :

Le moteur diesel doit son nom à son inventeur, l'ingénieur allemand RODOLF DIESEL né le 18 mars 1858 à Paris. Dans ce travail RODOLF DIESEL qui avait l'idée de réaliser un moteur dont le cycle se rapproche de cycle de Carnot. RODOLF DIESEL a mis au point le premier moteur à allumage par compression, en faisant comprimer de l'air à l'intérieur du cylindre et on obtient une haute température de l'air suffisante pour enflammer un combustible finement pulvérisé. Actuellement les progrès réalisés surtout dans l'injection mécanique ensuite l'injection électronique font ressortir que les moteurs Diesel sont utilisés de plus en plus tant dans l'industrie des centrales électriques, dans les bateaux et sur les véhicules routiers. [2]

### II.6.2 Principe du Moteur Diesel :

Le moteur diesel est un moteur à combustion dans le combustible est injecté et s'allume sous l'action de la chaleur de l'air comprimé porté à haute pression, le travail de la compression le transforme en chaleur accompagnée d'élévation de sa température, la compression doit être suffisante pour obtenir une température nécessaire à l'allumage de la charge de combustible injecté. [2]

### II.6.3 Principe de fonctionnement :

Le moteur diesel fonctionne selon les quatre phases fondamentales décrites en 1862 par l'ingénieur français Alphonse Beau de Rochas. Admission, compression, combustion détente, échappement. Suivant que les phases du cycle se répartissent sur un tour ou sur deux **tours** de vilebrequin ; le moteur diesel fonctionne selon les cycles à deux temps (un tour de vilebrequin) ou à quatre temps (deux tours de vilebrequin). [3]

**Figure 2 : Principe fonctionnement du moteur diesel à 4 temps [3]**

#### **II.6.4 Cycles Théoriques du moteur à quatre temps :**

On appelle cycle, l'ensemble des évolutions que subit une même masse de mélange depuis son entrée dans le cylindre jusqu'à sa sortie vers l'atmosphère, avec une variation de volume, de pression et de température. Ce cycle comprend les étapes suivantes :

- ❖ Admission : Le piston descend du PMH au PMB : Soupape d'admission ouverte et celle d'échappement fermée, aspiration pur d'air ;
- ❖ Compression : Le piston monte de PMB au PMH : Soupape admission fermée –soupape échappement fermée. Compression de l'air avec forte élévation de température (500 à 750° environ).
- ❖ Combustion : Le piston descend du PMH au PMB : Soupape d'admission fermée et celle d'échappement fermée. Le carburant est injecté dans l'air porté à haute température et s'enflamme dès son contact avec l'air. L'augmentation de pression qui en résulte pousse le piston vers le PMB, c'est le temps moteur.
- ❖ Echappement : Le piston monte du PMB au PMH : Soupape admission fermée soupape échappement ouverte, Les gaz brûlés chassés à l'extérieur.
- ❖ qu'on injecte le combustible avant que le piston soit exactement au PMH. [2]

## **II.6.5 Avantages et inconvénients du moteur diesel :**

### **II.6.5.a Les avantages du moteur diesel :**

Le moteur diesel fournit de l'énergie mécanique meilleur marché pour les raisons suivantes :

Le rendement est élevé. La consommation moyenne en combustible est voisine de 190 g/cv/h.

Le combustible employé par les moteurs diesel est relativement bon marché

Les gaz d'échappement sont moins toxiques puisque la teneur en oxyde de carbone est de 0,1% à 2 %.

- Les dangers d'incendie sont réduits
- L'admission est toujours maximale.

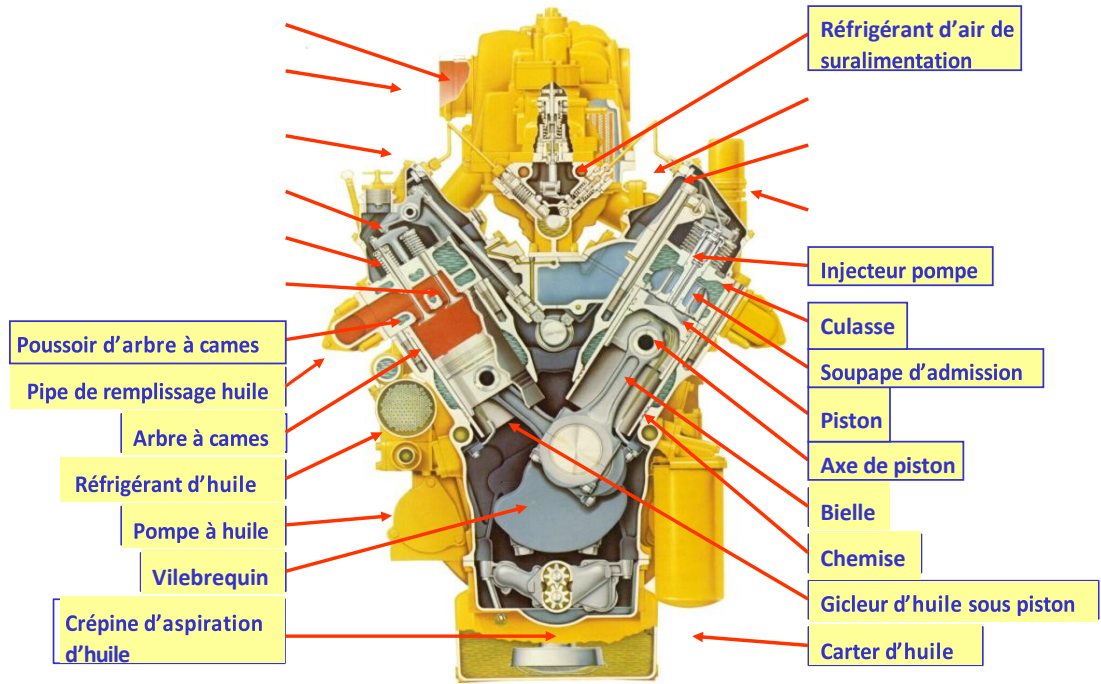
En effet, le gas-oil ne produit des vapeurs inflammables qu'aux environs de 80°C, soit à une température nettement supérieure à celle de l'été. [4]

### **II.6.5.b Les inconvénients du moteur diesel :**

Cependant le moteur diesel présente les inconvénients suivants :

- ❖ Les organes du moteur sont soumis à des pressions élevées donc à des efforts considérables, si bien que la construction de ces moteurs pose des problèmes mécaniques plus complexes.
- ❖ Les hautes températures sont indispensables pour enflammer spontanément le combustible injecté, ce qui nécessite des matériaux ayant une bonne tenue aux températures élevées.
- ❖ Les pressions en cours de combustion normales sont voisines de 50 à 80 bars. [4]

## **II.6.6 Etude du moteur diesel de bus Mercedes-Benz OM457hLA :**



Le moteur DIESEL

Figure 3 : Vue éclater d'un moteur Diesel (OM457 hLA)

### II.6.7 Description et principe de fonctionnement :

Le moteur bus Mercedes Benz OM457 est un moteur diesel 6 cylindres en ligne, 4 temps de 12,0 L (11 967 cm<sup>3</sup>) de cylindrée. C'est l'un des nombreux moteurs de la série 400 de moteurs, étant une version améliorée et gérée électroniquement de l'OM447. L'OM457 a des nombreuses applications, y compris les camions, les véhicules marins, militaires, municipaux, les bus et les véhicules agricoles, ainsi que les réglages stationnaires. Le moteur a des nombreux niveaux des finitions et des puissances différents, allant d'environ 250 à 450 chevaux, ainsi qu'une version montée verticalement et pour les bus une version montée horizontalement (appelée OM 457 hLA).

Le moteur est refroidi par eau et est produit à l'aide d'un bloc-cylindres en fonte, avec des chemises de cylindre amovibles de type humide. Le moteur utilise du carburant diesel fourni par une méthode d'injection directe à partir de pompes unitaires individuelles à commande électronique et actionnées par arbre à cames. Les culasses sont des unités distinctes pour chaque cylindre.

Le vilebrequin est une unité forgée de précision fonctionnant dans sept roulements à trois couches, avec des contrepoids boulonnés sur les manivelles, un peu comme tout autre moteur diesel de son époque. Le palier intermédiaire est également le palier de butée. Les bielles sont de conception fendue, avec des bagues en bronze pour l'axe de piston. [5]

## II.6.8 Description des organes du moteur bus Mercedes Benz OM457

hLA:

### II.6.8.a Les organes fixes :

#### Le bloc moteur ou bloc cylindre :

C'est la pièce maîtresse du moteur. Il est généralement coulé en fonte d'une seule pièce. Les cylindres peuvent être usinés ou évidés pour recevoir des chemises. Une circulation d'eau assure son refroidissement. Afin de vidanger le circuit d'eau, le bloc cylindre est muni d'un bouchon de vidange placé au point le plus bas du cylindre. [3]



Figure 4 : Bloc moteur

#### La culasse :

Disposée à l'extrémité supérieure du cylindre, elle ferme le cylindre et constitue la chambre de combustion. Elle comporte les éléments de distribution, l'injecteur, les conduits d'admission et d'échappement. Très fortement sollicitée du point de vue thermique, des chambres d'eau sont nécessaires à son refroidissement.

Le volume de la chambre de combustion détermine le rapport volumétrique. Le type d'injection, directe ou indirecte, son mode de distribution, deux, trois ou quatre soupapes par cylindre conditionnent directement son dessin. [3]



Figure 5 : La culasse



### **Le joint de culasse :**

Généralement constitué, de deux feuilles de cuivre enserrant une feuille d'amiante, ou réduit quelque fois à sa plus simple expression : une simple feuille de cuivre, le joint de culasse assure l'étanchéité entre la culasse et le bloc cylindre. [3]



**Figure 6 : Le joint de culasse**

### **Les carters :**

Supérieur, inférieur ou de distribution, réalisés en tôle emboutie ou moulés en alliage léger ils constituent des caches ou des couvercles qui ferment les différentes faces du moteur. [3]



**Figure 7 : Les carters**



### II.6.8.b Les organes mobiles :

La transmission du couple moteur est assurée par un système dynamique comportant trois éléments principaux : le piston, la bielle et le vilebrequin. L'ensemble constitue l'attelage mobile. [3]

#### Le piston :

Animé d'un mouvement rectiligne alternatif, le piston est réalisé en fonte alliée. La tête de piston forme une partie de la chambre de combustion. A ce titre, elle est quelque fois creusée de cavités destinées à créer une turbulence favorable à la combustion. Des segments sont logés dans la partie haute du piston, la tête, assurent l'étanchéité de la chambre de combustion. On distingue le segment de feu, les segments d'étanchéité et les segments racleurs, dont l'un est souvent disposé plus bas que l'axe de piston. Le segment de feu est le plus souvent chromé. Il est disposé assez loin du bord du piston afin d'éviter qu'il soit soumis directement à la chaleur dégagée lors de la combustion. [3]



Figure 8: Le piston

#### La bielle :

La bielle assure la liaison entre le vilebrequin et le piston. Réalisée en acier, elle doit pouvoir résister à des efforts de compression très élevés. A ce titre les constructeurs ont généralement adopté une section en H. Le plan de coupe de la tête de bielle est souvent oblique afin de faciliter la dépose de l'ensemble bielle piston par le haut du cylindre. [3]



Figure 9 : La bielle

### **L'arbre moteur :**

Constitué du vilebrequin et du volant moteur, il transmet sous la forme d'un couple l'énergie développée lors de la combustion. La régularisation du fonctionnement du moteur l'équilibrage de la rotation du vilebrequin est réalisé par le volant moteur. Le vilebrequin est réalisé avec un soin tout particulier, acier au nickel chrome, usinage de précision des parties tournantes, traitements thermiques, équilibrage, font que le vilebrequin, pièce maîtresse du moteur, en constitue l'un des éléments les plus onéreux. [3]



**Figure 10 : vilebrequin**

### **L'arbre à cames :**

L'arbre à cames est un élément qui permet de synchroniser différents organes du moteur. C'est l'arbre à cames qui régule l'ouverture et la fermeture des soupapes grâce à un système de pignons qui le synchronise à l'arbre moteur.[3]



**Figure 11 : L'arbre à came**

### **Les coussinets :**

Constitués de demi-coquilles démontables, recouverts d'une couche de métal antifriction, ils réalisent les contacts entre le palier du vilebrequin et la tête de bielle. [3]



**Figure 12 : Les coussinets**

## **Les soupapes :**

Selon la conception, la puissance du moteur, le nombre de soupapes par cylindre varie généralement au nombre de deux, une d'admission, une d'échappement. Certains moteurs, en vue d'améliorer le remplissage du cylindre, peuvent être dotés de trois voire quatre soupapes par cylindre. Chaque soupape se compose d'une tête munie d'une portée conique et d'une queue permettant le guidage. Soumises à des mouvements alternatifs très rapides, les portées de soupape se détériorent, l'étanchéité de la chambre de combustions est remise en question des problèmes de démarrage et de manque de puissance apparaissent. Il est alors temps d'intervenir. [3]



**Figure 13 : Les soupapes**

## **Les culbuteurs :**

Quelquefois appelés aussi basculeurs, les culbuteurs transmettent le mouvement des came aux soupapes par l'intermédiaire des tiges de culbuteur. L'extrémité en contact avec la tige de culbuteur est munie d'un système vis/écrou permettant le réglage du jeu aux culbuteurs. [3]



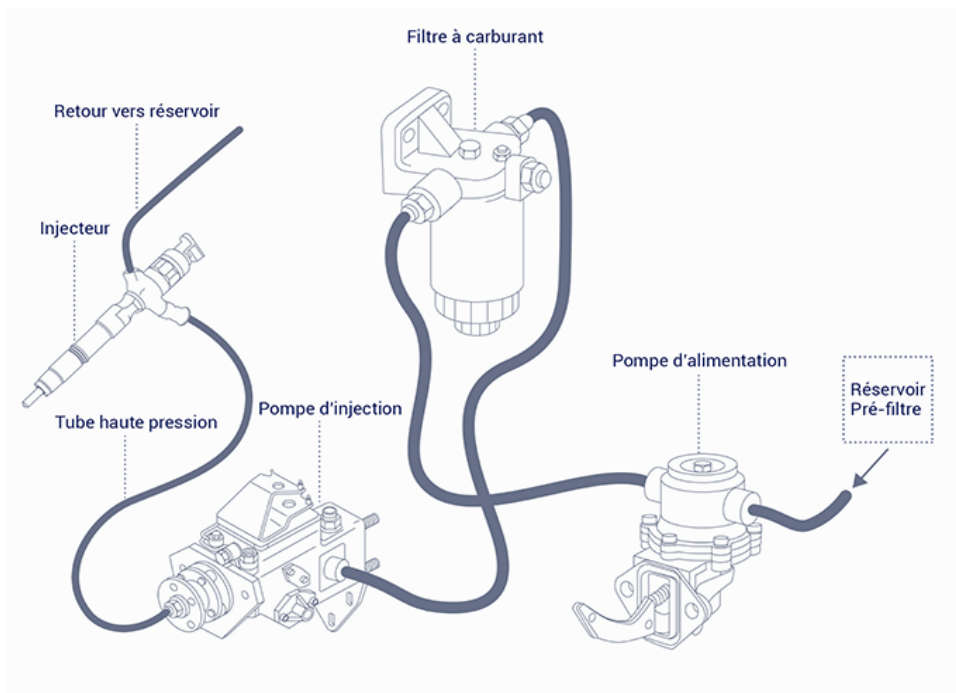
**Figure 14 : Les culbuteurs**

## **II.6.9 Les principaux circuits :**

### **II.6.9.a Circuit d'alimentation en combustible : [3]**

Le circuit d'alimentation en combustible a pour rôle d'amener à chaque cylindre une quantité déterminée de combustible parfaitement filtré, parfaitement dosé sous haute

pression, à un moment précis et ce quelle que soient les conditions d'utilisation du moteur.



**Figure 15 : Circuit de combustible de l'alimentation du moteur diesel [3]**

#### **Le réservoir de carburant :**

Le réservoir de carburant est destiné à recevoir et à stocker le carburant du moteur sous forme liquide, autre fois fabriqué en tôle, il est aujourd'hui le plus souvent fabriqué en matière synthétique, pour des raisons de poids et sécurité.



**Figure 16 : Réservoir de carburant**

#### **Le pré filtre :**

Le pré filtre est monté en série entre le réservoir et la pompe d'alimentation ; son rôle est d'arrêter les impuretés et d'éliminer l'eau en suspension dans le gasoil, par décantation de protéger la pompe d'alimentation.



**Figure 17 : Pré filtre**

### **Le filtre :**

Le filtre gasoil est monté en série entre la pompe l'alimentation et la pompe d'injection, son rôle est d'arrêter les plus petites impuretés (2à3 microns) afin de protéger la pompe

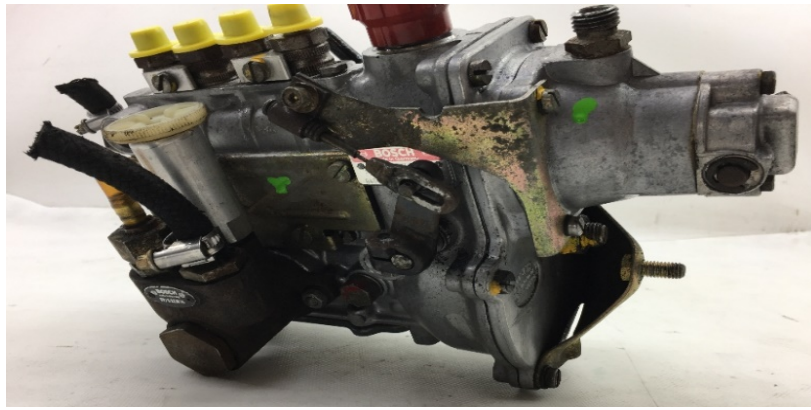
L'échange du filtre ou de la cartouche filtrante doit être réalisé périodiquement. Environ toutes les 200 heures ou tous les ans. Chaque intervention au niveau du circuit de gazole impose obligatoirement la purge de celui-ci.



**Figure 18 : Le filtre**

### **La pompe d'injection :**

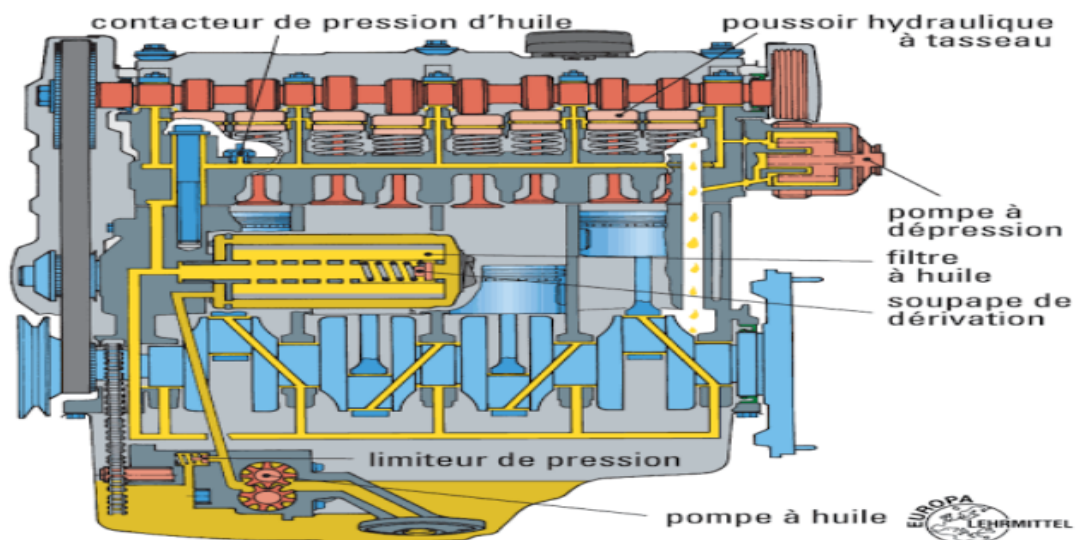
La pompe à injection est un organe essentiel du moteur, elle fait partie du circuit d'injection qui équipe les moteurs diesel. C'est elle qui assure le transfert du carburant, mais aussi son dosage précis vers les injecteurs. En amont, la pompe d'alimentation prend le carburant présent dans le réservoir. Ensuite, la pompe à injection produit une pression nécessaire afin de fournir les injecteurs en carburant. Puis, les injecteurs diffusent le carburant sous forme de micro gouttelettes afin d'assurer un bon mélange avec l'air. La quantité de carburant à injecter est définie par les dosages de l'accélération. Et le choix du type de la pompe d'injection dépend en grand partie du nombre de cylindre.



**Figure 19 : Pompe d'injection**

### **II.6.9.b Le circuit de lubrification :**

Le système de lubrification du moteur a pour rôle de diminuer les résistances passives dues aux frottements des pièces en mouvement les unes par rapport aux autres en facilitant leur glissement. La lubrification contribue à favoriser en outre refroidissement des différents organes du moteur tout en assurant leur propreté ; elle participe aussi à l'étanchéité de la chambre de combustion. Toute absence de la lubrification, se traduit par une élévation de température de frottement qui provoque à long terme ; le grippage de l'ensemble piston, bielle, vilebrequin. [9]



**Figure 20 : Circuit de lubrification**



## **Analyse technologique :**

### **La pompe à huile :**

La pompe à huile est une pièce essentielle au bon fonctionnement de votre moteur. Elle pompe l'huile moteur en la mettant sous pression avant de l'envoyer vers le filtre à huile puis dans le reste du moteur. La pompe à huile participe donc à la bonne lubrification des organes du moteur..[9]



**Figure 21 : La pompe à huile**

### **Le filtre à huile :**

Le filtrage de l'huile est nécessaire pour éliminer les impuretés qui pourraient altérer le bon fonctionnement du moteur. Ces impuretés proviennent :

- ❖ Des résidus de combustion,
- ❖ Des particules métalliques dues à l'usure.

Ce filtre est monté en série sur le circuit. Toute l'huile venant de la pompe traverse le filtre. En cas d'obturation de celui-ci, le circuit d'huile serait coupé. Pour éviter ce problème, un clapet by-pass est monté à l'intérieur du filtre. Si l'élément filtrant est colmaté, la pression d'huile s'élève et ouvre le clapet. L'huile ne sera pas filtrée mais rejoindra directement la rampe principale [9]

### **Le manocontact de pression d'huile :**

Le manocontact de pression d'huile se trouve sur le bloc moteur. Si la pression d'huile devient inférieure au tarage du ressort (entre 0,5 et 0,7 bar), le témoin d'alerte s'allume au tableau de bord. [9]

### **II.6.9.c Circuit refroidissement du moteur diesel :**

Un moteur produit beaucoup de chaleur quand il est en marche, et doit être refroidi en permanence pour éviter de s'endommager. Le système de refroidissement du moteur a pour fonction :

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

Son rôle est donc essentiel pour la préservation du moteur. [3]

#### **Le refroidissement par air :**

Les cylindres sont munis extérieurement d'ailettes rapportées, ou directement venues de fonderie et orientées pour que le courant d'air rentre circule facilement entre elles, généralement dans un moteur diesel le système est équipé d'un ventilateur ou d'une turbine.

Facteurs favorisant le refroidissement :

- ❖ La surface des ailettes : plus grandes en haut du cylindre car la température y est plus grande qu'en bas.
- ❖ La conductibilité du matériau (fonte ou aluminium).
- ❖ La vitesse de déplacement de l'air.

Avantage de ce système :

- ❖ Simplicité de construction.
- ❖ Pas d'entretien.
- ❖ Gain de poids. [3]

#### **Le refroidissement par eau : [3]**

La circulation de l'air est remplacé par la circulation d'un liquide de refroidissement appelé fluide caloporteur entre les différents éléments du moteur et un échangeur thermique traversé par l'air ce qui permettra le refroidissement du liquide. Cet échangeur eau / air est appelé radiateur. La circulation de ce liquide est accélérée à l'aide de la turbine d'une pompe à eau entraînée par une courroie (courroie de distribution ou courroie d'accessoire).



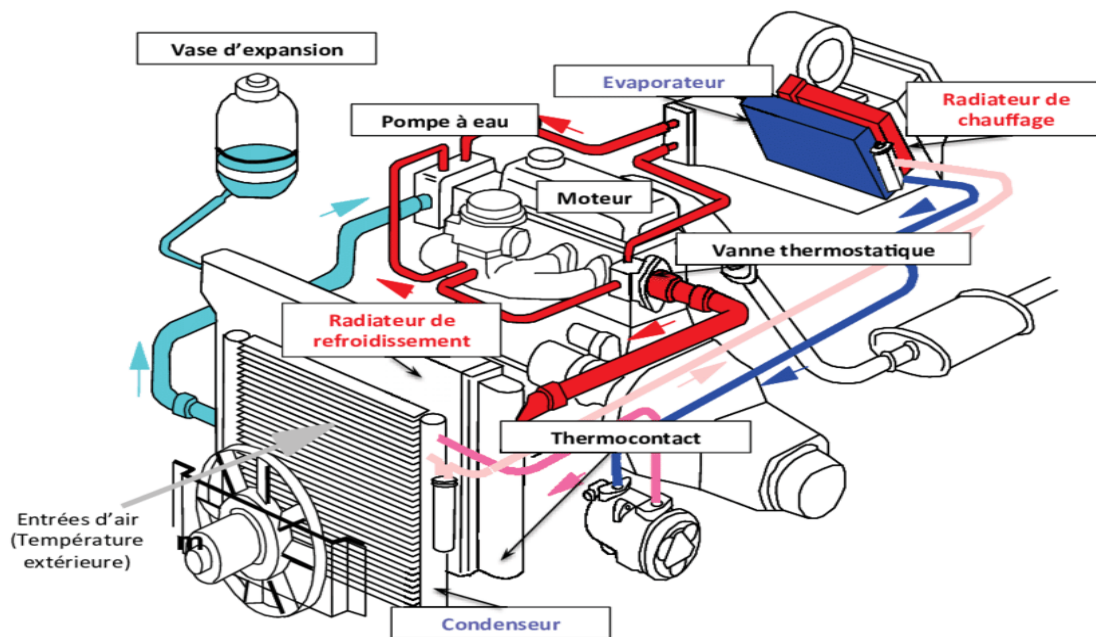


Figure 22 : Refroidissement par eau [6]

### Principe du fonctionnement :

Lorsque le moteur est froid le thermostat est fermé, ce qui contraint l'eau à ne circuler que dans le moteur. L'eau circulera dans les cylindres et les culasses, ensuite elle retourne à la pompe à eau par une conduite de canalisation au bloc moteur. Une fois la température de seuil est atteinte, le thermostat va s'ouvrir, il ouvre la canalisation interne du retour à la pompe à eau. L'eau va être amenée à circuler dans le radiateur et une petite quantité d'eau va transiter au vase d'expansion qui permet de compenser la différence volumique de l'eau en fonction de la température. Le liquide de refroidissement traverse les barres du radiateur pour être refroidie par l'air ambiant. En cas d'insuffisance de l'air de refroidissement, la température de l'eau va s'élever. Il faut donc faire appel à un circuit électrique auxiliaire. Lorsque la température est trop élevée le thermo-contact se ferme et il alimente le relais qui ferme son contact de puissance, ce qui fait mène au passage d'un grand courant qui alimente le moto-ventilateur. Une fois l'eau est refroidie, le thermo-contact s'ouvre et l'eau retourne à la pompe à eau par une conduite externe du moteur. [3]

## Les organes et accessoires du système de refroidissement :

### a) Radiateur :

Le radiateur refroidit le liquide de refroidissement qui a été chauffé dans les passages d'eau du bloc moteur. Le radiateur se compose d'une boîte à eau supérieure, d'une boîte à eau inférieure, et entre ces deux boîtes à eau, d'un faisceau de tubes. Le liquide de refroidissement arrive dans la boîte à eau supérieure par la durite supérieure, cette boîte à eau supérieure comporte également un bouchon qui permet de faire l'appoint du liquide de refroidissement. Cette boîte à eau est également reliée, par une tuyauterie souple, à un vase d'expansion où le liquide de refroidissement en excédent est récupéré. La boîte à eau inférieure comporte une sortie et un bouchon de vidange. [7]



**Figure 23 : Radiateur**

### b) Ventilateur :

Le ventilateur moteur, ou moto ventilateur, est un système qui permet d'apporter de l'air au radiateur moteur. Il est composé d'un moteur électrique et d'un ventilateur. Le moto ventilateur joue un rôle important dans le bon fonctionnement du système de climatisation et de refroidissement du moteur : il refroidit le liquide de refroidissement. Il fonctionne grâce à un moteur électrique qui permet aux pales d'entrer en rotation. Le courant d'air qu'il produit fait diminuer la température du liquide de refroidissement. Le ventilateur moteur se met en marche lorsque le thermo-contact lui signale que le liquide de refroidissement est à une température proche des 90°C. Le ventilateur s'arrête lorsque le liquide redescend à 80°C [7]



**Figure 24: Ventilateur**

**c) Pompe à eau :**

La pompe à eau est une pièce importante du moteur et du circuit de refroidissement : elle assure la circulation du liquide de refroidissement et évite que le moteur de la voiture surchauffe. [7]



**Figure 25 : Pompe à eau**

**d) Thermostat :**

La fonction principale d'un thermostat est de maintenir une température de fonctionnement optimale (aux environs de 100°C) dans le moteur de bus

Au démarrage du moteur, le thermostat sera fermé et empêchera la circulation du produit au niveau du radiateur de refroidissement. Dès qu'une température spécifiée (de l'ordre de 80°C à 85°C selon le constructeur) sera mesurée, le thermostat commencera à s'ouvrir permettant le passage du liquide dans le radiateur de refroidissement et donc l'évacuation de chaleur. Le thermostat régulera le débit en fonction des besoins d'évacuation de chaleur. [8]



**Figure 26 : Thermostat**

## **II.7 Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons pu identifier les différentes parties du moteur bus Mercedes OM457 hLA et leurs rôles. On peut donc dire que le moteur bus Mercedes est un produit de la future qui peut être amélioré dans les domaines de l'efficacité de la fiabilité et la disponibilité.

## **Chapitre III : Maintenance du moteur bus Mercedes OM457 hLA et leur méthode utilisé (AMDEC, Pareto, Ishikawa)**

### **III .1 Introduction :**

Les installations les équipements tendent à se détériorer dans le temps sous l'action de causes multiples : usures, déformations dues au fonctionnement, action des agents corrosifs (agents chimiques, atmosphériques, etc ...

Ces détériorations peuvent provoquer :

L'arrêt de fonctionnement (panne), diminuer les capacités de production, mettre en pareil la sécurité des personnes, provoquer des rebuts ou diminuer la qualité, augmenter les couts de fonctionnement (augmentation de la consommation d'énergie, etc.), diminuer la valeur marchande de ces moyens.

Dans tous les cas, ces détériorations engendrent des Couts Directs ou indirects supplémentaires.

Ce qui nécessite l'introduction de la fonction maintenance.

Donc, la fonction maintenance est l'affaire de tous et doit être omniprésente dans les entreprises et les services. Elle est un enjeu économique considérable pour tous les pays qui souhaitent disposer d'outils de production disponible, performants.

L'importance de l'entretien (maintenance) est en grande partie fonction des Progrès techniques et les investissements qu'entraînent ces progrès techniques.

La maintenance permet d'organiser, prévoir, planifier et gérer les opérations d'entretien. Aux activités techniques effectuées par des spécialistes viennent se greffer d'autres responsabilités comme :

- L'organisation d'une structure de maintenance préventive.
- L'analyse des pannes ainsi que le compte rendu des interventions de maintenance.
- Le suivi informatique du vieillissement du matériel.
- L'établissement d'un fichier historique du suivi de maintenance par machine (fiabilité).
- La gestion des stocks de pièces détachées.

### **III .2 Définition de la maintenance :**

Selon d'AFNOR X60 010, la maintenance est : Toutes les activités destinées à maintenir ou à rétablir un bien dans un état ou dans des conditions données de sûreté de fonctionnement, pour accomplir une fonction requis. Ces activités sont une combinaison d'activités technique, administratives et de management. . [10]

Cette définition peut être complétée par « bien maintenir, c'est assurer ces opérations au coût global optimal ».

La définition de la maintenance fait donc apparaître quatre notions :

- ❖ Maintenir : qui suppose un suivi et une surveillance.
- ❖ Rétablir : qui sous-entend l'idée d'une correction de défaut.
- ❖ Etat spécifié et service déterminé : qui précise le niveau de compétences et les objectifs attendus de la maintenance.
- ❖ Cout optimal : qui conditionne l'ensemble des opérations dans un souci d'efficacité économique..

### **III .3 Objectifs de la maintenance :**

Buts fixés et acceptés pour les activités de maintenance. Ces buts peuvent comprendre par exemple la disponibilité, les coûts, la qualité du produit, la protection de l'environnement et la sécurité. Avec comme objectifs :

- ✓ Augmenter la productivité de l'entreprise et la qualité des produits fabriqués
- ✓ Améliorer la sûreté de fonctionnement des installations
- ✓ Augmenter le taux de rendement global des installations
- ✓ Diminuer les coûts associés à une politique (Coûts directs et indirects, coût global)
- ✓ Optimiser les stocks de pièces de rechange

Le responsable de maintenance doit obtenir de la direction Les moyens compatibles avec les objectifs fixés.

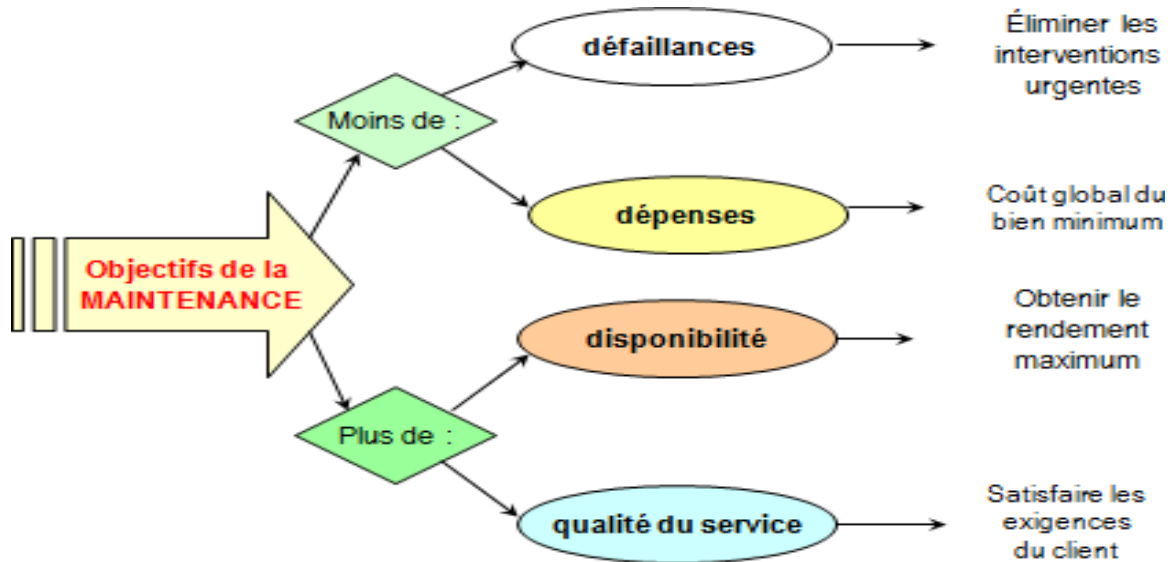


Figure 27 : Objectifs de la maintenance [11]

### III .4 Quelques définitions et paramètres relatifs à la maintenance :

#### Fiabilité :

La fiabilité est la probabilité d'une entité à accomplir une fonction requise pendant un intervalle de temps donné, dans des conditions données.

La fonction requise, nécessaire pour la fourniture d'un service donné, doit être spécifiée dans un cahier de charge avec les tolérances acceptables.

D'après AFNOR(X60-501) : “ la fiabilité est la caractéristique, la dispositif exprimé par la probabilité que ce dispositif a comprise une fonction requise dans des conditions d'utilisation et pour une période de temps déterminé. [10]

#### La maintenabilité :

La maintenabilité est, dans des conditions données d'utilisation, d'une entité à être maintenue ou remise en service sur un intervalle donné de temps, dans un état dans lequel elle peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données avec des procédures et des moyens prescrit.



## La disponibilité :

La disponibilité d'un équipement ou d'un système est une mesure de performance qu'on obtient en divisant la durée durant lequel le dit équipement ou système est opérationnel par la durée totale durant laquelle on aurait souhaité qu'il le soit

### III .5 Les types de maintenance :

#### III.5.1 Graphe de différentes formes de maintenance :

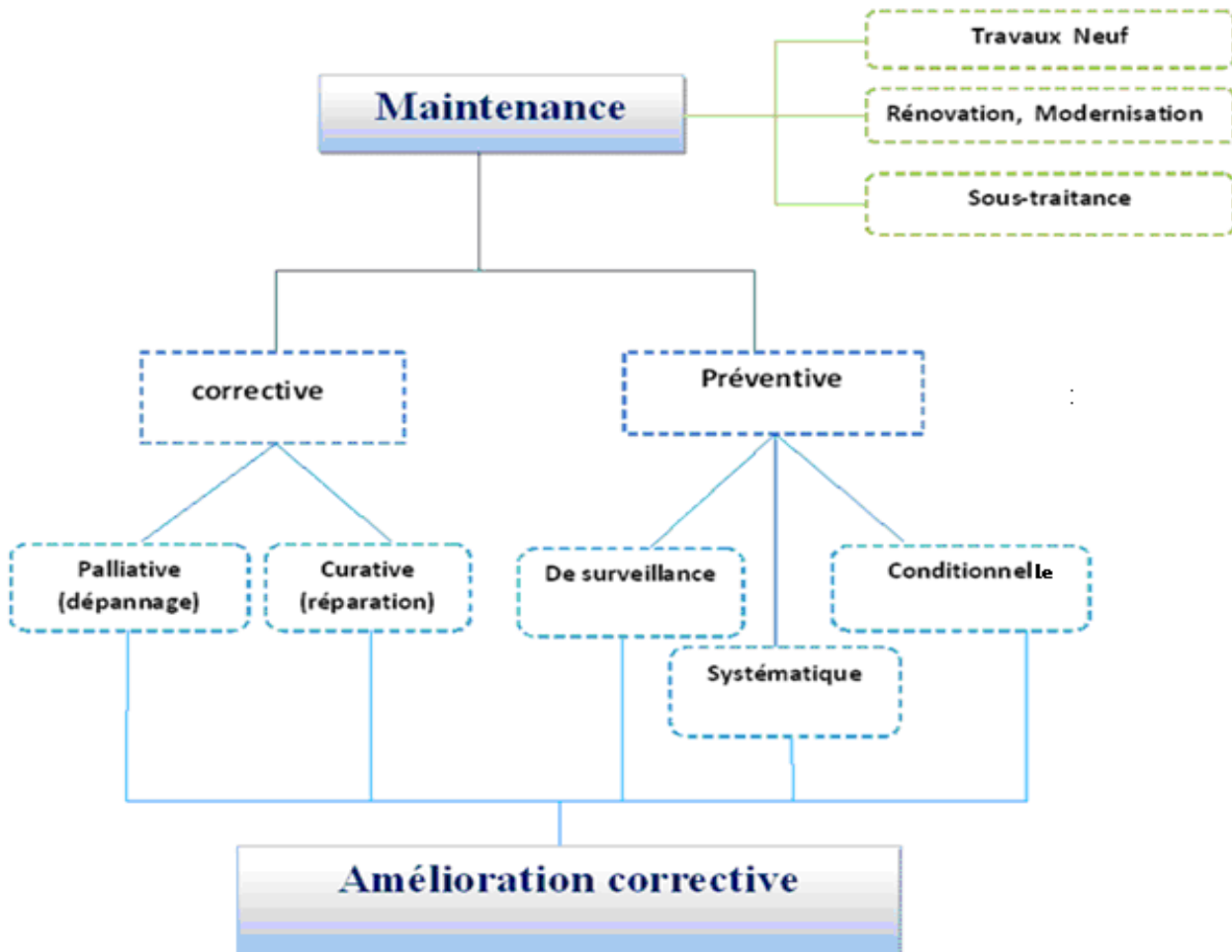


Figure 28 : Différentes formes de maintenance [11]

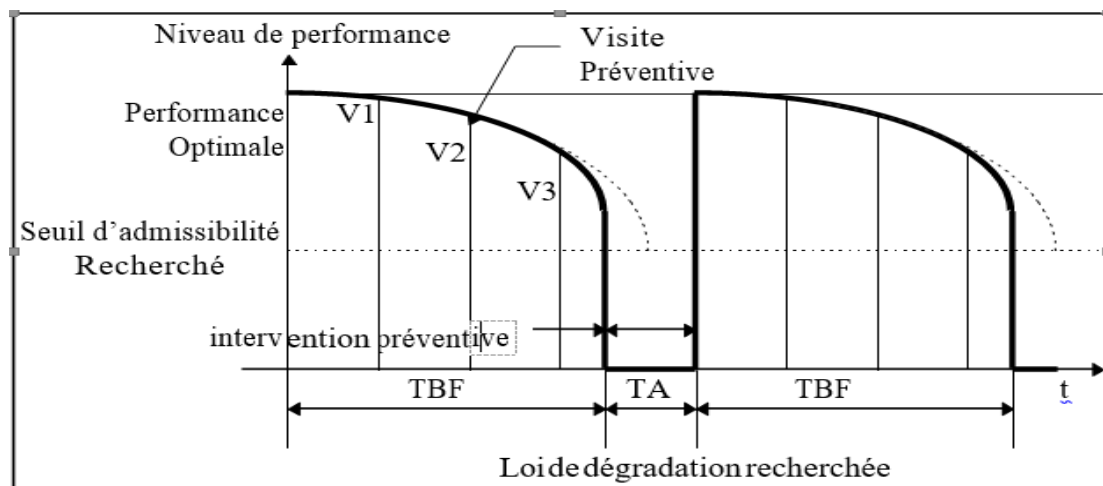
#### III.5.2 La maintenance préventive :

##### III.5.2.a Définition :

Appelée également maintenance technique planifiée, la maintenance préventive désigne toute intervention sur un équipement à intervalles réguliers. Elle s'effectue également selon des critères prédéfinis.

Son principal but est de diminuer les risques de panne sur les biens, machines et équipements. Elle vise également à atteindre des objectifs plus généraux. Désormais, la plupart des entreprises cherchent à développer la part des activités de maintenance préventive par rapport à la maintenance corrective ou curative.

D'après AFNOR(X60-010) : “Maintenance effectuée dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu. “[10]



**Figure 29 : Schématisation de la maintenance préventive [11]**

### **III.5.2.b Objectifs de La maintenance préventive :**

- ✓ Augmenter la durée de vie du matériel.
- ✓ Diminuer la probabilité des défaillances en service.
- ✓ Diminuer les temps d'arrêt en cas de révision ou de panne.
- ✓ Prévenir et aussi prévoir les interventions coûteuses de maintenance corrective.
- ✓ Permettre de décider la maintenance corrective dans de bonnes conditions.
- ✓ Eviter les consommations anormales d'énergie, de lubrifiant, etc....
- ✓ Améliorer les conditions du travail du personnel de production.
- ✓ Diminuer le budget de maintenance.
- ✓ Supprimer les causes d'accidents graves. [12]

### **III.5.2.c La maintenance préventive systématique :**

D'après AFNOR : “maintenance préventive effectuée selon un échéancier établi suivant le

temps ou le nombre d'unité d'usage. [10]

C'est la Maintenance préventive effectuée selon un échéancier établi selon le temps ou le nombre d'unités d'usage.

Même si le temps est l'unité la plus répandue, d'autres unités peuvent être retenues telles que : la quantité, la longueur et la masse des produits fabriqués, la distance parcourue, le nombre de cycles effectués, etc. [12]

#### **III.5.2.d La maintenance préventive conditionnelle :**

La maintenance préventive conditionnelle appelée aussi maintenance prédictive

D'après AFNOR(X60-010) : "maintenance subordonnée à un type d'événement près déterminé (auto-diagnostique, information d'un capteur, mesure...)

Cette forme moderne de maintenance permet d'assurer le suivi continu du matériel en service dans le but est de prévenir la défaillance attendue

##### **✓ Cas d'application**

Tout le matériel est concerné ; cette maintenance préventive conditionnelle se fait par des mesures pertinentes sur le matériel en fonctionnement.

Les paramètres mesurés peuvent porter sur :

- ❖ Le niveau et la qualité de l'huile.
- ❖ Les températures et les pressions.
- ❖ Les tensions et l'intensité des matériels électriques.
- ❖ Les vibrations et les jeux mécaniques.

##### **✓ Avantage**

La connaissance du comportement est en temps réel à condition de savoir interpréter les résultats. [11]

#### **III.5.2.e La maintenance préventive prévisionnelle :**

La maintenance prévisionnelle est effectuée à l'aide d'estimation suite à des analyses et des évaluations des paramètres de la machine.

Il faut savoir que ce type de maintenance est coûteux et demande des outils sophistiqués. Il s'applique uniquement à des éléments d'un point de vue sécurité et coût. [13]

### **III.5.3 La maintenance corrective :**

D'après AFNOR(X60-010) : Opération de maintenance effectuée après défaillance.

La maintenance corrective correspond à une attitude de défense dans l'attente d'une défaillance caractéristique de l'entretien traditionnel. [10]

#### **III.5.3.a Les opérations de maintenance corrective :**

##### **Maintenance palliative ou DEPANNAGE :**

La maintenance palliative est principalement constituée d'actions à caractère provisoire qui doivent être suivies d'actions curatives. Et Appelée couramment « dépannage », [14]

##### **Maintenance curative ou REPARATION :**

La maintenance curative a lieu après l'incident elle est là pour réparer une panne. [14]

#### **III.5.3.b Le temps en maintenance corrective :**

Les actions de maintenance corrective étant très diverses, il est toujours difficile de prévoir la durée d'intervention :

- ❖ Elle peut être faible (de quelques secondes pour réarmer un disjoncteur ou changer un fusible à quelques minutes pour changer un joint qui fuit).
- ❖ Elle peut être très importante (de 0,5 à plusieurs heures) dans le cas du changement de plusieurs organes simultanément (moteur noyé par une inondation).
- ❖ Elle peut être majeure en cas de mort d'homme (plusieurs jours si enquête de police).

Le responsable maintenance doit donc tenir compte de ces distorsions et avoir à sa disposition une équipe « réactive » aux événements aléatoires. Pour réduire la durée des interventions, donc les coûts directs et indirects (coûts d'indisponibilité de l'équipement), on peut :

- ❖ Mettre en place des méthodes d'interventions rationnelles et standardisées (outillages spécifiques, échanges standards, logistique adaptée, etc..).
- ❖ Prendre en compte la maintenabilité des équipements de la conception (trappe de visites accessibles, témoins d'usure visible, etc..).[14]

### **III.6 Les niveaux de la maintenance :**

#### **a) 1<sup>er</sup> Niveau :**

Réglages simples prévus par le constructeur au moyen d'éléments accessibles sans aucun

démontage ou ouverture de l'équipement, ou échanges d'éléments consommables accessibles en toute sécurité, tels que voyants ou certains fusibles, etc.....

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 des pièces consommables nécessaires est très faible.

**b) 2<sup>ème</sup> Niveau :**

Dépannage par échange standard des éléments prévus à cet effet et opérations mineures de maintenance préventive, telles que graissage ou contrôle de bon fonctionnement.

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.

**c) 3<sup>ème</sup> Niveau :**

Identification et diagnostic des pannes, réparations par échange de composants ou d'éléments fonctionnels, réparations mécaniques mineures et toutes opérations courantes de maintenance préventive telles que réglage général ou réaligement des appareils de mesure.

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.

**d) 4<sup>ème</sup> Niveau :**

Tous les travaux importants de maintenance corrective ou préventive à l'exception de la rénovation et de la reconstruction. Ce niveau comprend aussi le réglage des appareils de mesure utilisés pour la maintenance, et éventuellement la vérification des étalons du travail par les organismes spécialisés.

Ce type d'intervention peut être effectué par une équipe comprenant un encadrement technique très spécialisé, dans un atelier spécialisé.

### e) 5<sup>ème</sup> Niveau :

Rénovation, reconstruction ou exécution des réparations importantes confiées à un atelier central ou à une unité extérieure.

Par définition, ce type de travaux est donc effectué par le constructeur, ou par le reconstruteur, avec des moyens définis par le constructeur et donc proches de la fabrication.  
[12]

**Tableau 1 : les niveaux de le maintenance**

Niveau	Description	Exemple
1°	Réglage simple ou échanges de consommables prévus par le constructeur, sans démontage et en toute sécurité	Réglages, nettoyage...
2°	Dépannages par échange standard et opérations préventives simples	Graissage, lubrification, contrôle de bon fonctionnement
3°	Identification et diagnostic des pannes, réparations par échange de composants, et opérations préventives	Analyse, diagnostic de pannes, réparation, réglage d'appareils
4°	Travaux importants, correctifs ou préventifs, sans modification ou reconstruction	Travaux suite à un diagnostic et/ou une expertise
5°	Rénovation, reconstruction ou réparation importantes en atelier spécialisé	Souvent effectué par le constructeur

## III .7 La politique de la maintenance :

La stratégie de maintenance est l'ensemble des décisions qui conduisent à définir le portefeuille d'activité de la maintenance et conjointement, à organiser structurellement le système pour y parvenir dans le cadre de la mission impartie (objectifs techniques, économiques et humains).

## III .8 Les méthodes de maintenance :

Au vu de l'importance du processus maintenance et de son impact sur les performances des installations, des méthodes d'optimisation ont été développées permettent d'aider les responsables de maintenance à construire ou à modifier les stratégies de maintenance telle que la méthode AMDEC, la méthode Ishikawa (ou le diagramme Causes Effets), Le diagramme de Pareto...

### III.8.1 Méthode d'analyse prévisionnelle « ABC (Pareto)» :

Le diagramme de Pareto « loi 80/20 » ou « diagramme ABC » Le Diagramme de PARETO est un outil d'analyse, qui hiérarchise les actions à mener pour résoudre des problèmes. Sa présentation graphique indique les causes principales sur lesquelles agir de suite pour éradiquer les défauts constatés. Travailler sur les 20% des causes qui produisent 80% des défauts.

#### Pourquoi utiliser cet outil ?

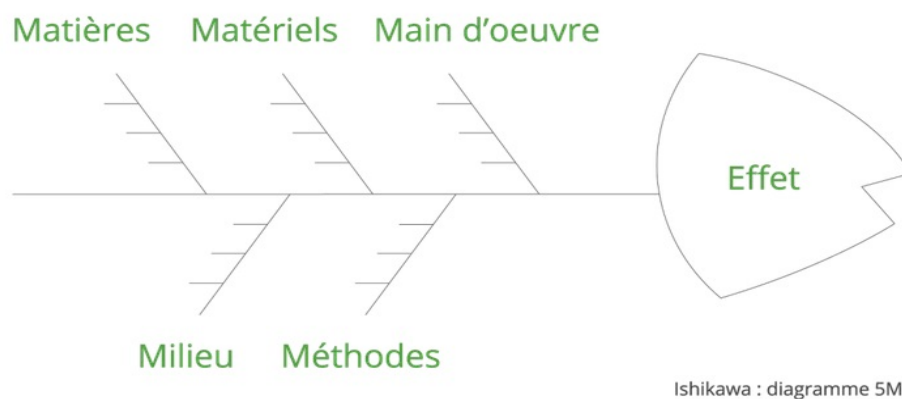
Outil très simple à mettre en œuvre et facile de compréhension par sa représentation graphique : directement utilisable en management visuel. Véritable filtre qui propose les actions, sur lesquelles agir de suite pour obtenir des résultats. [19]

### III.8.2 Méthode ISHIKAWA :

« Ishikawa » ou le « diagramme Causes/Effets » est une méthode de résolution de problèmes qui vise à explorer toutes les dimensions de cette dernière en classant ses causes par famille (substance, médium, méthode, machine et travail). Et sous-familles. Cette méthode permet de relier les causes et les effets du dysfonctionnement, en cas de panne technique de l'équipement. [19]

Il se compose de quatre étapes principales :

- Déterminez et définissez le problème à résoudre
- Énumérez les sources d'erreur possibles
- Classification des causes dans la famille
- Représentation du diagramme de cause à effet



**Figure 30 : Diagramme Causes/Effets**

### **III.8.3 Méthode AMDEC :**

L'AMDEC est une technique spécifique de la sûreté de fonctionnement (**A**nalyse de **M**ode de **D**éfaillance, de leur **E**ffet et de leur **C**riticité) est avant tout une méthode d'analyse de système (système au sens large composé d'éléments fonctionnels ou physique, matériel, logiciel, humain, etc.), s'appuyant sur un raisonnement inductif (causes conséquences), pour l'étude organisée des causes, des effets des défaillances et de leur criticité.

#### **III.8.3.a Définition :**

AMDEC : “une méthode d'analyse de la fiabilité qui permet de recenser les défaillances dont les conséquences affectent le fonctionnement du système dans le cadre d'une application donnée.” [10]

L'AMDEC est l'acronyme de l'analyse des modes de défaillance, de leurs effets et leur criticité. C'est une méthode d'analyse préventive de la sûreté de fonctionnement qui permet une analyse systématique, composant par composant, de tous les modes de défaillance possible et qui précise leurs effets sur le système global. Elle a pour but d'analyser les conséquences des défaillances et d'identifier les pannes dont les répercussions sur la sécurité sont importantes. L'analyse de criticité permet de classer les risques afin de s'attacher à réduire, en priorité les plus importants qui sont jugés inacceptables [15]

L'AMDEC présente l'avantage de pouvoir être mis en œuvre tout au long du cycle de vie d'un système. Cependant, elle est principalement utilisée en tant que technique d'analyse préventive pour détecter les défaillances potentielles, évaluer les risques et susciter des actions de prévention.

#### **III.8.3.b Objectif :**

La méthode AMDEC est l'Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur criticité. Elle consiste à :

- Identifier les causes et les effets de l'échec potentiel d'un procédé ou d'un moyen de production
- Identifier les actions pouvant éliminer (ou du moins réduire) l'échec potentiel
- Elle consiste à imaginer les dysfonctionnements menant à l'échec avant même que ceux-ci ne se produisent.

C'est donc essentiellement une méthode prédictive.



### III.8.3.c Principe de la méthode :

Puisque l'objectif de cette démarche est de décrire un plan d'actions préventives, il est nécessaire que ceux travaillant sur l'AMDEC aient un niveau de connaissances élevé sur le système étudié ; ceci va permettre de répondre aux quatre questions de base de l'AMDEC (voir Tableau 2).

**Tableau 2 : Les quatre questions de base de l'AMDEC**

Modes de défaillance potentielle	Effets possibles	Causes possibles	Plan du surveillance
Qu'est-ce qui pourrait aller mal ?	Quels pourraient être les effets ?	Quelles pourraient être les causes ?	Comment faire pour voir ça ?

En répondant à ces questions, l'équipe AMDEC essaye d'identifier les modes de défaillance qui peuvent se produire sur des équipements et de les hiérarchiser par leurs niveaux de criticité, puis de lister les conséquences et les causes sur les fonctions de base de ces équipements.

### III.8.3.d Aspect d'AMDEC :

L'outil AMDEC possède deux aspects :

#### a)Aspect qualitatif :

L'aspect qualitatif de l'étude consiste à recenser les défaillances potentielles des fonctions du système étudié, de rechercher et d'identifier les causes des défaillances et d'en connaître les effets qui peuvent affecter les clients, les utilisateurs et l'environnement interne ou externe.

#### b) L'aspect quantitatif :

L'aspect quantitatif consiste à estimer le risque associé à la défaillance potentielle. Le but de cette estimation est l'identification et la hiérarchisation des défaillances potentielles. Celles-ci sont alors mises en évidence en appliquant certains critères dont, entre autres, l'impact sur le client. La hiérarchisation des modes de défaillance par ordre décroissant, facilite la recherche et la prise d'actions prioritaires qui doivent diminuer l'impact sur les clients ou qui élimineraient complètement les causes des défauts potentiels

- Le but de l'AMDEC est de faire ressortir les points critiques afin de les éliminer, de prévoir un mode de prévention. La mise en évidence de ces points se fait selon certains critères dans une analyse quantitative. [16]

### III.8.3.e Types d'AMDEC :

Il y a plusieurs types de l'AMDEC sont utilisés lors de phases successives de développement d'un produit.

- ❖ L'AMDEC-produit ou l'AMDEC-projet : est utilisée pour étudier en détail la phase de conception du produit ou d'un projet. Si le produit comprend plusieurs composants, on applique l'AMDEC-composants.
- ❖ L'AMDEC-processus : s'applique à des processus de fabrication. Elle est utilisée pour analyser et évaluer la criticité de toutes les défaillances potentielles d'un produit engendrées par son processus. Elle peut être aussi utilisée pour les postes de travail
- ❖ L'AMDEC-moyen : s'applique à des machines, des outils, des équipements et appareils de mesure, des logiciels et des systèmes de transport interne.
- ❖ L'AMDEC-service : s'applique pour vérifier que la valeur ajoutée réalisée dans le service corresponde aux attentes des clients et que le processus de réalisation de service n'engendre pas de défaillances. L'AMDEC-sécurité : s'applique pour assurer la sécurité des opérateurs dans les procédés où il existe des risques pour ceux-ci. [16]

### III.8.3.f Démarche pratique de l'AMDEC :

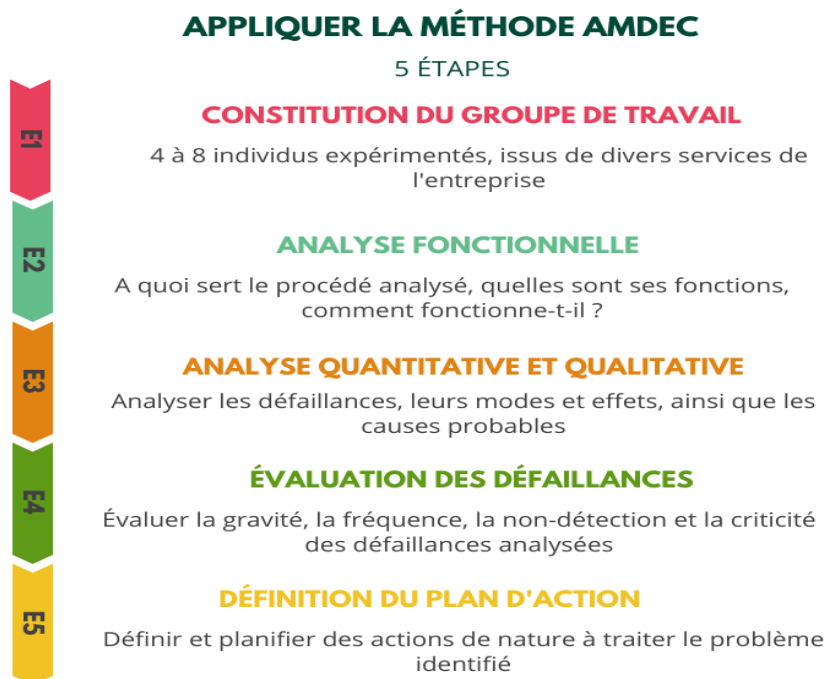


Figure 31 : La démarche AMDEC

## Etape 1 : Initialisation de l'étude

Quel Système étudier ?

Quels Objectifs atteindre ?

Constituer le Groupe de Travail

Etablir le Planning des réunions

Définir les supports de travail (Grilles, tableaux de saisie...)

## Etape 2 : Analyse fonctionnelle

Le but de l'analyse fonctionnelle est de déterminer d'une manière assez complète les fonctions principales d'un produit les fonctions contraintes et les fonctions élémentaires. Pour réaliser correctement l'analyse fonctionnelle il faut effectuer trois étapes principales :

- 1) Définir le besoin à satisfaire. Le principe consiste à décrire le besoin et la façon dont il est satisfait et comment il risque de ne pas être satisfait.
- 2) Définir les fonctions qui correspondent au besoin. chaque fonction répond à la question a quoi sa sert ? La réponse doit comprendre un sujet et un verbe . On peut alors déterminer la défaillance potentielle.
- 3) Etablir l'arbre fonctionnel afin de visualiser l'analyse fonctionnelle. Très souvent les fonctions principales comportent des sous fonctions ou résultent d'un ensemble des fonctions élémentaires d'où le besoin de l'arbre fonctionnel

## Étape 3 : Etude qualitative :

Celle-ci consiste à identifier toutes les défaillances possibles, à déterminer les modes de défaillance à identifier les effets relatifs à chaque mode de défaillance, à analyser et à trouver les causes possibles et les causes les plus probables des défaillances potentielles. Pour réaliser cet objectif, on s'appuie sur l'analyse fonctionnelle. A partir des fonctions définies on cherche directement les défaillances potentielles

**Modes de défaillance :** Un mode de défaillance s'exprime par la manière dont un équipement ne remplit plus sa fonction. Par exemple :

- ❖ Perte de fonction : rupture, blocage, grippage, coincement, composant défectueux, obstruction de circuit hydraulique, flambage ;
- ❖ Fonctionnement intempestif : coup de bélier ;
- ❖ Refus d'arrêter au moment prévu ;
- ❖ Refus de démarrer au moment prévu : absence de jeu, fuite, circuit hydraulique bouché, court-circuit, connexion desserrée ;

- ❖ Fonctionnement dégradé : jeu, déformation, vibration, desserrage, corrosion, perte de performance, fatigue, fissure, déformation, désalignement, etc ...

On doit spécifier :

- ❖ L'impact sur la sécurité, la production et la qualité ;
- ❖ La fréquence ;
- ❖ La difficulté de détecter une défaillance ;
- ❖ Les effets induits (sur la sécurité, le coût, etc.)

### **Causes de défaillances :**

La cause est l'anomalie susceptible de conduire à la défaillance. Elle s'exprime en termes d'écart par rapport à une norme fixée d'avance.

On définit et décrit les causes de chaque mode de défaillance pour pouvoir en estimer la probabilité, en déceler les effets et prévoir les actions correctives.

Les causes possibles peuvent se manifester au niveau de la conception, de la fabrication ou de l'exploitation et sont par exemple :

- ❖ De nature technique : contraintes, fatigue, états de surface, vieillissement, colmatage, fuite, mauvais dimensionnement, matière imparfaite, chaleur, mauvais traitement thermique, fissures, balourd, etc.
- ❖ De source humaine : conception, montage, réglage, contrôle, outils, utilisation, défaut de graissage, mauvaise maintenance, mauvaises soudures ;
- ❖ Dues à un manque d'organisation ;
- ❖ D'origine environnementale : température, eau, huile, poussières, copeaux, échauffement, chocs, vibrations ;
- ❖ Dues à une documentation absente, fausse ou désuète [17].

### **Effet d'une défaillance :**

Il faut évaluer les effets des modes de défaillance. L'effet d'une défaillance est la concrétisation de la conséquence de cette défaillance sur le client de l'équipement étudié (client satisfait ou non). Les effets de modes de défaillance d'une entité donnée sont étudiés d'abord sur les composants qui partagent une interface avec celle-ci (effet local) et ensuite de proche en proche (effets de gone) vers le système et son environnement (effet global).

### **Les effets peuvent avoir un impact sur :**

- ❖ La sécurité des opérateurs et de l'environnement : sans influence, influence mineure sans blessure, influence moyenne avec blessure, influence importante avec risque de mort ;
- ❖ La fiabilité : influence mineure, significative, critique, catastrophique ;
- ❖ La qualité du produit fabriqué ;
- ❖ La disponibilité (en fonction du temps d'arrêt de fonctionnement) du moyen de production
- ❖ La maintenabilité (en fonction du temps de réparation MTTR) et le coût de la maintenance.

Il est important de noter que lorsqu'une entité donnée est considérée selon un mode de défaillance donné, toutes les autres entités sont supposées en état de fonctionnement normal [17].

### **Détection de l'effet :**

Lorsqu'un effet de la défaillance est détecté, il faut déterminer s'il aurait été possible de le détecter prématurément et s'il est possible d'implanter un système de surveillance. La détection peut être effectuée par contrôle, par mesure, par calcul ou par formation du personnel. Les symptômes sont appelés anomalies et peuvent être observés ou mesurés de manière précoce. Ceux-ci traduisent l'apparition d'une défaillance et se manifestent par des paramètres physiques tels que la dimension, la forme, l'état de surface, les vibrations, l'échauffement, la dégradation des lubrifiants, les traces d'usure, les fissures, la coloration, le bruit, l'odeur, l'aspect, etc [17].

### **Tableau AMDEC : mode, cause, effet, détection :**

Les effets, modes et causes de défaillance peuvent être indiqués sous forme de tableau. Le tableau AMDEC est constitué de plusieurs colonnes

### **Étape 4 : Etude quantitative :**

Il convient de classer les effets des modes de défaillance par criticité, par rapport à certains critères de fonctionnement préalablement définis pour un système en fonction des objectifs fixés (fiabilité, sécurité, etc.). Il s'agit d'une estimation, selon certains critères à définir, de l'indice de criticité du trio cause-mode-effet de la défaillance potentielle étudiée. On peut se baser sur l'historique des bris, le retour d'expériences et les données de fiabilité [17].

Une défaillance ayant une criticité importante a :

- ❖ Des conséquences graves
- ❖ Une probabilité d'occurrence (fréquence d'apparition) élevée
- ❖ Une faible détectabilité

**La notation utilisée est :**

- **G** : la gravité des conséquences ou des effets sur le client ou l'utilisateur ;
- **F** : la fréquence d'apparition de la défaillance ;
- **D** : la probabilité de la non-détection, qui est le risque qu'on ne peut pas détecter la défaillance;

**C** : L'indice de Criticité s'obtient en multipliant les 3 notes précédentes :

$$C = G \times F \times D$$

### **Détection (D) : [18]**

La détectabilité est un point important, si on ne peut pas prédire la panne, il y a un plus grand risque d'arrêt à cause d'elle. On peut réduire la détectabilité et donc la criticité d'un équipement en lui affectant des capteurs ou en le remplaçant par un qui l'intègre. La détection (D) allant d'un (1) jusqu'à quatre (4)

**Tableau 3: Grille de cotation de la Détection (D) [18]**

<b>Détection : D</b>	
<b>1</b>	<b>Détection certaine le risque est visible</b>
<b>2</b>	<b>Défaillance détectable : défaillance facilement détectable mais nécessite une action particulière de l'opérateur (visite, contrôle visuel)</b>
<b>3</b>	<b>Détection difficile</b>
<b>4</b>	<b>Indécelable : Aucun signe avant-coureur de la défaillance.</b>

### **Fréquence (F) : [18]**

Pour définir l'occurrence d'une panne, il faut se baser sur l'expérience propre, celle de l'opérateur ou des techniciens maintenance (historique de pannes). On peut aussi faire des comparaisons avec d'autres équipements connus relativement similaires. La fréquence F allant d'un (1) jusqu'à quatre (4).

**Tableau 4 : Grille de cotation de la Fréquence (F) [18]**

<b>FREQUENCE:F</b>	
<b>1</b>	<b>Défaillance maxi par an</b>
<b>2</b>	<b>Défaillance maxi par trimestre</b>
<b>3</b>	<b>Défaillance maxi par mois</b>
<b>4</b>	<b>Défaillance maxi par semaine</b>

### Gravité (G) : [18]

La gravité est le premier facteur de la criticité à définir, on commence par celui-ci car en fonction de sa note, on doit ou pas continuer l'AMDEC. Il faut définir la gravité d'une défaillance pour chacun des 4 points: la sécurité, la production, la qualité, l'impact environnemental. Si un des points a un score plus haut que les autres, on prendra la note la plus haute afin de faire ressortir le point critique.

**Tableau 5 : Grille de cotation de la Gravité(G) [18]**

GRAVITE:G	
1	Aucune influence : Arrêt de production <2 minutes.
2	Arrêt ≤ 1 heure
3	1 heure < arrêt ≤ 2 heures
4	Arrêt > 2 heures

### Criticité (C) :

La criticité s'obtient en faisant le produit des indices des critères précédents. Cette valeur de criticité s'établit souvent sur une échelle de 1 à 64 (4\*4\*4), elle permet de connaître à partir de ses propres critères d'évaluation le caractère critique de chacune des causes de défaillance potentielle pour chacun des composants d'un système. Dans le cadre d'une conception ces indices de criticité mettent en évidence la faiblesse de certains points appelant ainsi à une amélioration, mais dans le cadre de l'exploitation d'un système, les indices de criticité élevés orientent les actions à mettre en œuvre (modification, type de maintenance, conduite...)

- **Classification et matrice de criticité :**

Les actions menées sont décidées par le groupe de travail pour pouvoir éliminer tous les points critiques. A partir de la valeur de la criticité, on peut classer les problèmes par ordre décroissant et les répartir en différentes classes. Des intervalles de niveau de criticité (de référence) appropriés à l'entreprise considérée comme le montre le **tableau 6**

**Tableau 6 : Facteur d'évaluation de criticité [18]**

NIVEAU DE CRITICITE	ACTIONS CORRECTIVES A ENGAGER
1 ≤ C < 16 Criticité négligeable	Aucune modification de conception Maintenance corrective
16 ≤ C < 18 Criticité moyenne	Amélioration des performances de l'élément Maintenance préventive systématique

<b>18≤C&lt;24</b> <b>Criticité élevée</b>	Révision de la conception du sous-ensemble et du choix des éléments Surveillance particulière, maintenance préventive conditionnelle/ prévisionnelle
<b>24≤C&lt;64</b> <b>Criticité interdite</b>	Remise en cause complète de la conception

### Étape 5 : Hiérarchisation :

La difficulté essentielle d'une étude qui veut anticiper les problèmes et rechercher les solutions préventives provient de la très grande variété des problèmes potentiels à envisager. D'où le besoin d'une hiérarchisation, qui permet de classer les modes de défaillance et d'organiser leur traitement par ordre d'importance.

### Étape 6 : La recherche des actions préventives/correctives.

Après le classement des différentes modes de défaillance potentielles d'après les indices de criticité le groupe désigne les responsables de la recherche des actions préventives ou correctives. Les outils tels que le diagramme causes effet, le travail en équipe doivent être appliqués pour une recherche efficace. En pratique le groupe de travail s'attache à réduire l'indice de criticité par des actions qui visent :

- ❖ la réduction de la probabilité de fréquence
- ❖ la réduction de la probabilité de non détection
- ❖ la réduction de la gravité de l'effet de défaillance

## III.9 Conclusion :

L'ingénieur en maintenance industrielle a pour mission de veiller au bon fonctionnement des moyens destinés aux activités de production. Dans ce cadre, il met en œuvre une stratégie de maintenance corrective et préventive sur le site et pilote les équipes sous sa responsabilité.

La politique de maintenance est à déterminer en fonction de la taille de l'entreprise et des objectifs fixés par la direction technique.



## **Chapitre IV : Application des méthodes : PARETO, ISHIKAWA, AMDEC au moteur bus Mercedes OM457 hLA**

## IV .1 Introduction :

Les arrêts de moteur dus aux pannes au niveau des organes, des circuits sont la cause majeure des pertes. Pour garantir une disponibilité optimale, il faut lutter contre toute sorte de perte (pannes).

Notre tâche consiste à chercher l'origine de ces pannes fréquentes. Pour cela nous allons faire une étude critique des conditions de fonctionnement de ce moteur, leurs maintenance afin d'en déduire les améliorations à mettre en place pour éviter les pannes fréquentes.

Pour mener une étude structurée de base scientifique, nous avons fait appel à plusieurs méthodes de la maintenance, comme principalement PARETO, Ishikawa et l'AMDEC pour l'analyse des modes de défaillances.

## IV .2 Etude de cas :

On va présenter notre moteur bus Mercedes et on va appliquer PARETO, ISHIKAWA, AMDEC et remplir les tableaux par les résultats de l'analyse que nous effectuons au moteur bus Mercedes et mentionner les recommandations possibles pour les défaillances critiques que nous avons trouvées et élaborer un plan de maintenance préventive pour ce moteur.

### **Moteur bus Mercedes-Benz OM 457 hLA:**

Moteur bus Mercedes-Benz OM 457 hLA est un moteur diesel à 4 temps à combustion interne et à injection directe, son circuit de combustion est constitué de 6 cylindres en ligne 12,0 L (11 967 cm<sup>3</sup>) de cylindrée.



**Figure 32 : Vue sur le moteur bus Mercedes BENZ OM457 hLA**

**Tableau 7 : Notice descriptive du moteur OM457 hLA**

<b>Notice descriptive du moteur bus Mercedes BNEZ OM457 hLA</b>	
<b>Dénomination du type</b>	
<b>Type Mercedes Benz</b>	OM
<b>Marquage moteur</b>	OM457 hLA
<b>Description générale</b>	
<b>Genre</b>	Moteur diesel, 4 temps
<b>Principe de fonctionnement</b>	Moteur à combustion interne à pistons en mouvement alternatif et vilebrequin
<b>Suralimentation</b>	Par turbo compresseur entraîné par les gaz d'échappement avec échangeur
<b>Dispositifs antipollution (sur demande)</b>	Catalyseur à oxydation ou catalyseur avec filtre à particules
<b>Nombre et disposition des cylindres</b>	6 cylindres en ligne
<b>Cylindrée</b>	11 967 cm <sup>3</sup>
<b>Rapport volumétrique de compression</b>	17.75 t0.5
<b>Puissance maximale</b>	205 kW
<b>Régime de puissance maximale</b>	2200 tr/mn
<b>Couple maximal</b>	110 mdaN
<b>Régime du couple maximal</b>	de 1.200 à 1.600 tr/mn
<b>Carburant utilisé</b>	Gasoil
<b>Mode d'alimentation du moteur</b>	Par pompes-conduites-injecteurs gérés électroniquement (injection directe)
<b>Type de filtre à air</b>	A cartouche sèche
<b>Allumage</b>	par compression
<b>Tension d'alimentation des circuits électriques</b>	24 volts
<b>Refroidissement du moteur</b>	par circulation d'eau forcée et radiateur avec ventilateur visco-coupleur
<b>Nombre de silencieux d'échappement</b>	un

## IV.2.1 Etude du diagramme de Pareto :

### ❖ Partage moteur selon le type du système :

Pour simplifier cette étude statistique, on a divisé les systèmes de moteur à cinq groupes.

- **Système mécanique:** comprend de : vilebrequin, piston, soupape, bielle, culasse...
- **Système d'injection:** comprend de : la pompe à injection, les injecteurs, circuit de gasoil...
- **Système de refroidissement:** comprend de : réfrigérant, radiateur, la pompe a eau et ventilateur...
- **Système de lubrification :** comprend de : la pompe a huile et les filtres ...
- **Système (admission+échappement) :** comprend de : les conduites et les collecteurs

Le tableau suivant présente le nombre et les heures des pannes :

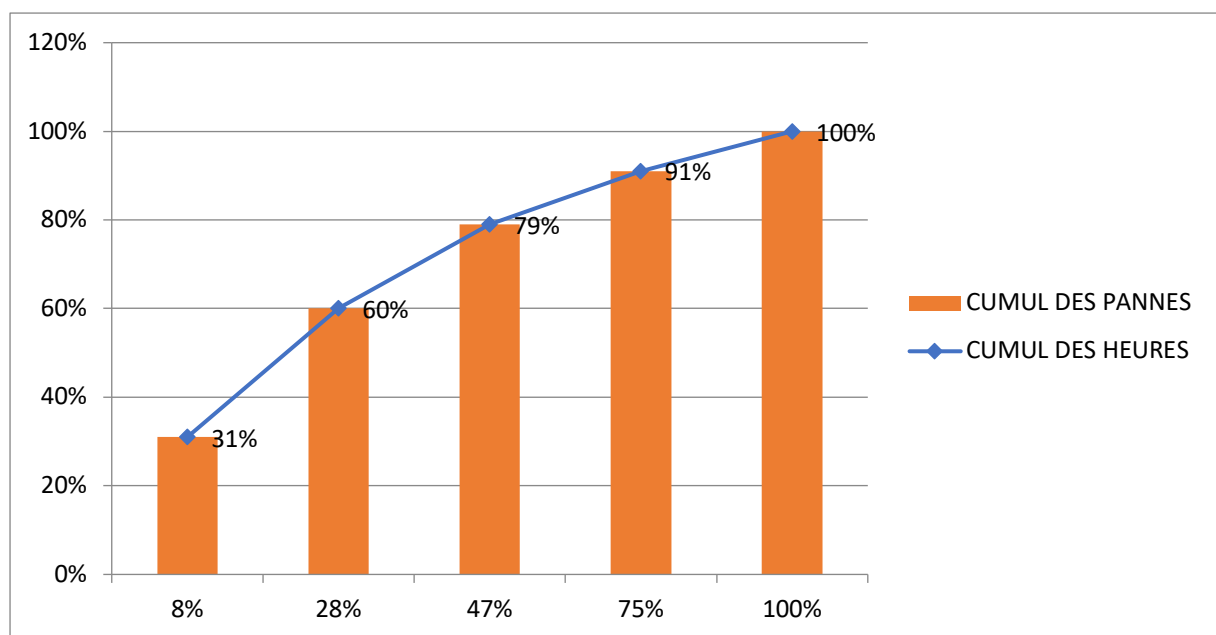
**Tableau 8: Nombre et heures de pannes de sous-ensemble**

Sous-ensembles	Nombre de pannes	Les heures de pannes
Système mécanique	3	300
Système refroidissement	7	290
Système injection	7	190
Système admission	10	112
Système lubrification	9	90

**Tableau 9 : Cumul des heures des pannes en pourcentage**

Sous - ensembles	Nombre pannes	Cumul des pannes	%des pannes cumulées	Heures des pannes	Cumul des heures	%Cumule des heures
Sys mécanique	3	3	8%	300	300	31%
Sys refroidissement	7	10	28%	290	590	60%
Sys injection	7	17	47%	190	780	79%
Sys admission	10	27	75%	112	892	91%
Sys lubrification	9	36	100%	90	982	100%

**Diagramme de PARETO :**



**Figure 33 : Diagramme de PARETO**

### ❖ **Interprétation du diagramme de Pareto :**

- ❖ **La zone A :** montre que 48% des sous ensembles occasionnent 80% des temps de panne ; il s'agit du système mécanique, refroidissement et injection donc attention particulière devrait être réservée à cette zone.
- ❖ **La zone B :** Ensuite nous avons la zone B qui indique 28% des sous ensembles sont à l'origine de 12% des temps d'arrêts ; il s'agit du système admission.
- ❖ **La zone C :** Finalement, nous avons la zone C (25%) en représentant le système d'admission. Cette dernière zone représente également 9% des temps de pannes

## **IV.2.2 Recherche des causes racines (Diagramme Ishikawa):**

Après l'analyse des graphes de Pareto, nous avons essayé de comprendre pourquoi les heures des pannes de ces trois sous-ensembles sont énormes. Pour cette raison, nous travaillerons diagramme d'Ishikawa.

Pour appliquer le diagramme d'Ishikawa, il faut connaître toutes les causes liées aux «cinq M» suivantes : Matière, Méthode, Matériel, Milieu et Main d'œuvre.

### **1. Matière:**

- Qualité du gasoil
- Type d'huile
- Qualité de lubrifiant
- Additif de lubrifiant
- Pièce de rechange non conforme

### **2. Méthode :**

- Non respect des consignes de la constructeur
- Manque de maintenance préventive
- Maintenance corrective et curative inefficace
- Programmes de maintenance non conformes

### 3. Matériel :

- l'usure des joints
- éclatement des réfrigérants
- bouchement de la pompe d'injection
- l'usure des pistons
- Colmatage des filtres
- Cassure des bielles

### 4. Milieu :

- Type des terrains
- Conditions climatiques
- Type des routes
- La poussière

### 5. Main d'œuvre :

- Mal formation des opérateurs
- Style de conducteurs
- Manque de communication
- Mauvaise mise en place des pièces

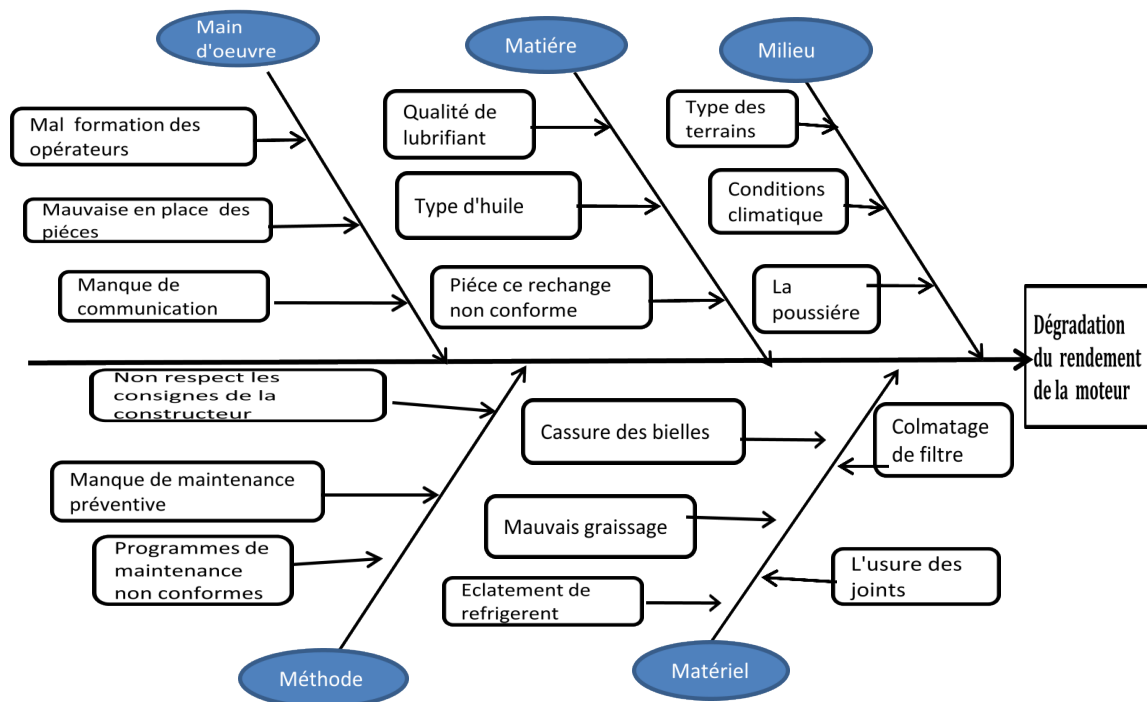


Figure 34 : Diagramme d'ISHIKAWA

❖ Diagramme d'ISHIKAWA sur le circuit d'injection :

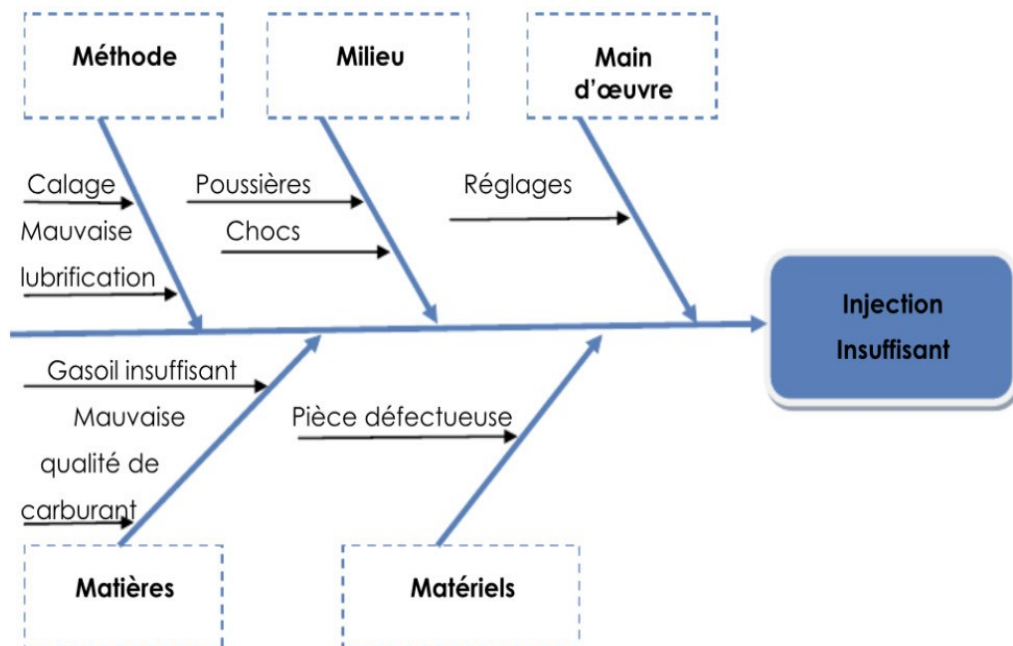


Figure 35 : Diagramme d'ISHIKAWA sur le circuit d'injection

❖ Diagramme d'ISHIKAWA sur le circuit de lubrification :

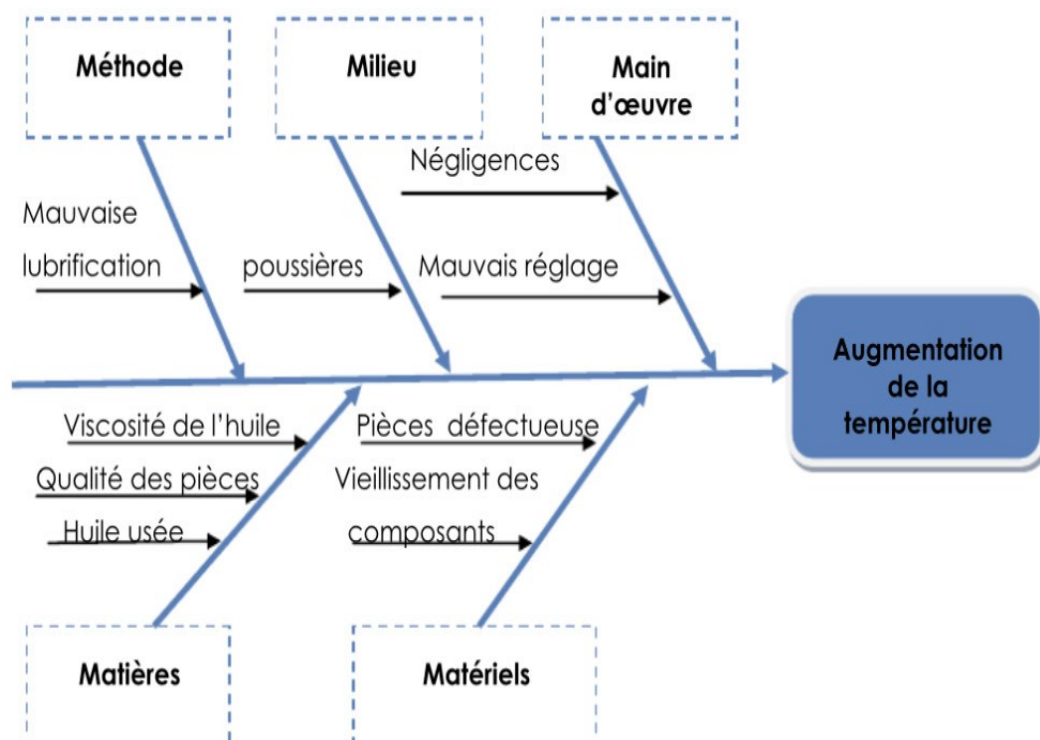
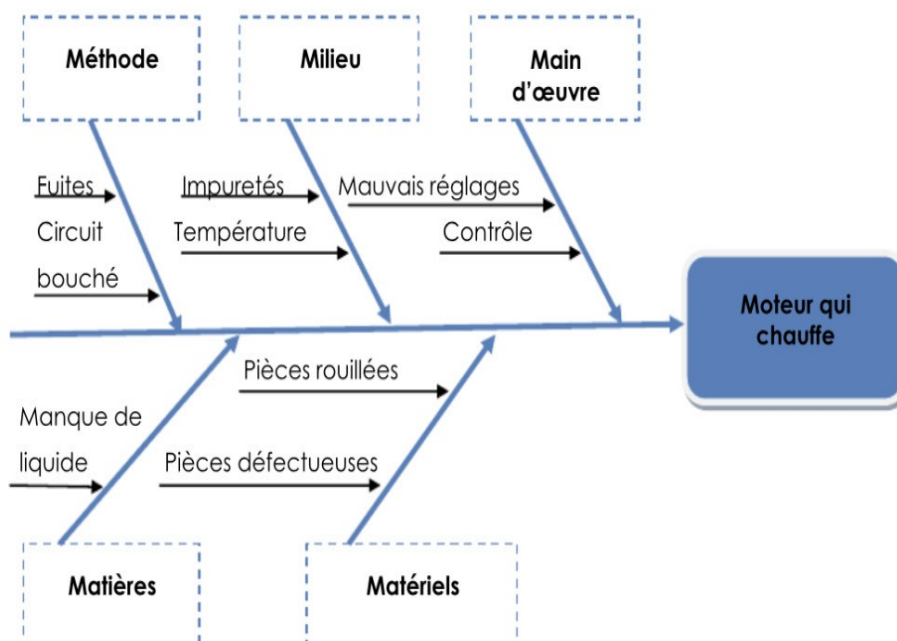


Figure 36 : Diagramme d'ISHIKAWA sur le circuit de lubrification



❖ **Diagramme d'ISHIKAWA sur le circuit de refroidissement :**



**Figure 37 : Diagramme d'ISHIKAWA sur le circuit de refroidissement**

❖ **Interprétation du diagramme d'Ishikawa :**

Selon le diagramme d'Ishikawa nous pouvons déduire quelques points suivants:

✓ **Méthode :**

Le non-respect des instructions du fabricant et l'absence de maintenance corrective efficace sont deux facteurs qui influent sur la performance du moteur.

✓ **Matériel :**

Les machines sont en général utilisées dans des mauvaises conditions (mauvais graissage, mauvais réglage) qui cause des fuites interne et éclatement des flexibles ainsi les usures des joints. Le manque du démontage, vidange et rinçage du réservoir à gasoil et du changement du filtre à gasoil qui pose le problème important à la moteur à cause des poussières est celui-ci influe directement sur les filtres ainsi le fonctionnement du moteur et compresseur.

✓ **Matière :**

Pour ce qui concerne la matière, type de l'huile, la qualité de lubrifiant et les pièces de rechange non conforme sont facteurs pénibles sur la rentabilité de la machine.

#### ✓ Milieu :

Le milieu poussiéreux est le facteur majeur qui augmente les temps d'indisponibilité. Le voyant du tableau de bord s'allume en premier, indiquant une panne d'injection diesel. Puis on entend un clic sur l'injecteur. Les moteurs diesel deviennent de plus en plus difficiles à démarrer et ne démarreront tout simplement pas à court terme. Ces poussières sont en effet un désastre pour le moteur diesel car ils sont répartis sur tout le circuit diesel, cette poussière se déplacera particulièrement vers l'injecteur qui sera rapidement endommagé. En effet les orifices et les mécanismes des injecteurs diesel sont très fins, donc quelques milligrammes de limaille suffisent pour bloquer ces canaux. De cette façon, les injecteurs ne fonctionneront plus et seront bloqués et endommagés d'une manière irréversible.

Par conséquent, la seule solution est un nettoyage ordonné et soigneux de tout le circuit de carburant/injection pour éliminer complètement les copeaux d'aluminium

Si non, la moindre poussière résiduelle entraînera rapidement de nouveaux échecs.

Il y'a une absence du protocole de réparation pour se débarrasser définitivement de cette poussière.

#### ✓ Main d'œuvre :

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

### IV.2.3 Analyse AMDEC :

Après le recensement et l'identification de toutes les causes qui provoquent les pannes du bus Mercedes BENZ (moteur «OM457 hLA»), nous passons au calcul de la criticité des défaillances fonctionnelles à l'aide de produit:  $F \cdot G \cdot D$ , prenant en compte la fréquence et la gravité de défaillance comme indices de calcul. Nous avons obtenus le tableau suivant :

**Tableau 10 : AMDEC**

	Date de l'analyse :	AMDEC Machine- Analyses des Modes de Défaillances et leurs Effets de Criticité					Phase de fonctionnement				Page :
		Système : Moteur diesel			Sous-ensemble : Moteur OM457 hLA						Nom :
Circuit refroidissement	Elément	Fonction	Modes de défaillances	Causes de défaillance	Effets de défaillance	Détection	Criticité :				Action corrective :
							F	G	N	C	
	Radiateur	Contenir l'eau et faciliter son refroidissement	Fuite interne	Rouille, choc	Défaut de refroidissement	Visuelle	2	3	3	18	Vérifier l'état de l'eau, remplacer
	Ventilateur	Accélérer la vitesse de passage de l'air à travers le radiateur	Mauvais refroidissement	Hélice endommagé	Pas d'air, Chauffage excessif	Visuelle	2	2	3	12	Remplacer les hélices
	Canalisation	Conduire l'eau de refroidissement à travers le moteur	Fuites internes, colmatage	Raccord desserrés par vibration, présence d'impuretés	Pertes d'eau de refroidissement	Visuelle	2	3	3	18	Nettoyer, remplacer, serrer des raccords
	Pompe à eau	Aspirer et refouler l'eau sous pression	Fonctionnement irrégulier	Courroie détendue, cassé	Débit insuffisant, le moteur chauffe	Visuelle	1	3	4	12	Remplacer
Thermostat	Réguler la température de l'eau de refroidissement	Ne s'ouvre pas	Usure ou cassure du clapet ou du capteur	Le moteur chauffe	Visuelle	2	3	3	18	Changer	
Système mécanique	Vilebrequin	Recevoir les efforts des bielles	Ne reste pas en position	Usure des coussinets, vieillissement	Pas d'entraînement	Visuelle	1	4	4	16	Remplacer coussinet, vilebrequin
	Bloc cylindre	Contenir les éléments mobiles du moteur	Rupture, Vibration	Mauvais refroidissement, usure de cylindre	Baisse de performances	Visuelle	1	4	3	12	Remplacer, revoir le circuit d'eau
	Bielle	Transmettre au vilebrequin les efforts reçus des pistons	Rupture	Mauvais montage, mauvaise lubrification	Baisse du rendement du moteur	Visuelle, Sonore	1	4	3	12	Remplacer, lubrifier
	Piston	Assurer la compression de gaz par l'action des bielles	Ne reste pas en position	Usure des segments de la tête de piston	Mauvaise compression	Visuelle	1	2	2	4	Remplacer le piston
	Culasse	Assurer une lubrification des cylindres	Ne se ferme pas	Mauvais état des joints de culasse	Perte de puissance	Visuelle, Sonore	1	4	4	16	Changer le joint de culasse

	Soupape	Transmettre l'admission et les rejets des gaz	Coincement, blocage	Déréglées	Le moteur fume noir	Visuelle	1	3	2	6	Régler
	Culbuteur	Permettre le mouvement d'ouverture et de fermeture des soupapes	Coincement, blocage	Manque de lubrification	Excès de fumée noir	Visuelle	1	3	2	6	Réglage culbuteur, remplacer
	Coussinets	protège le vilebrequin de l'usure	Vibration	Manque d'huile ou de pression d'huile	Le moteur cogne	Visuelle, sonore	2	4	4	32	Remplacer, vérifier l'ensemble du circuit d'huile
Circuit d' air.	Filtre d'air	Retenir les particules contenues dans l'air	Colmatage	Présence d'impuretés dans l'air	Baisse de performance du Turbocompresseur Mauvais filtrage	Visuelle	2	2	2	8	Nettoyer, changer le filtre
	Turbo compresseur	Augmenter la puissance du moteur	Ne démarre pas	Axe de roue de la turbine cassée	Moins d'air dans les cylindre, moteur moins puissant	Visuelle	2	3	2	12	Remplacer l'axe
Circuit d' injection	Filtre à gasoil	Retenir les impuretés afin de protéger la pompe	Obturation, blocage	Présence d'impureté diverses	Pompe colmatée, mauvais filtrage	Visuelle	3	2	2	12	Nettoyer, remplacer
	Pompe d'injection	Distribuer le carburant aux cylindres selon les besoins	Fonctionnement irrégulier	Pompe d'injection défectueuse	Pompe ne débite pas	Visuelle	2	4	3	24	Réglage de la pompe
	Injecteur	Pulvériser le gasoil à haute pression dans la chambre de combustion	Le moteur ne démarre pas et fume noir	Injecteur défectueuse	Mauvais combustion	Visuelle	2	3	4	18	Régler
Circuit de lubrification.	Pompe à huile	Débitier l'huile sous pression	Fonctionnement irrégulier	Mauvaise lubrification	Pression d'huile insuffisante	Visuelle	2	3	3	18	Remplacer, ou changer l'injecteur
	Filtre à huile	Retenir les particules retenues dans l'huile	Obturation	Présence de poussière dans l'huile	Mauvais filtrage,	Visuelle	3	2	2	12	Nettoyage, remplacer
	Jauge d'huile-moteur	Contrôler le niveau d'huile moteur	Boucher	Présence de saletés	Perte de contrôle de niveau d'huile	Visuelle	1	1	2	4	Nettoyage
	refrigerant (refroidisseur d'huile)	Refroidir l'huile du carter	Obturation	Dépôt des aspérités, encrassage	Mauvais refroidissement	Visuelle	2	3	3	18	Nettoyer, dégraisser avec de l'air comprimé

Synthèse ou évaluation de la criticité :

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

Niveau de criticité	Action corrective à engager
$1 \leq C < 16$	Aucune modification; maintenance corrective. Ex: changement d'accouplement; serrage de système de fixation.
$16 \leq C < 24$	surveillance particulière ; maintenance préventive, conditionnelle et pièces de rechange associées.
$24 \leq C < 64$	Remise en cause complète de la conception.

**Tableau 11 : Evaluation de la criticité**

Niveau de criticité	Eléments	criticité	Action corrective
$1 \leq C < 16$	Culasse	12	<b>Maintenance corrective</b>
	Ventilateur	12	
	Turbo	12	
	Soupape	6	
	Culbuteur	6	
	Vilebrequin	6	
	Bielle	12	
	Piston	6	
	Bloc cylindre	15	
	Filtre d'air	6	
	Filtre à huile	12	
	Jauge d'huile	4	
	Pompe à eau	12	
	Filtre gasoil	12	
$16 \leq C < 24$	Pompe à injection	24	<b>Amélioration de performance de l'élément maintenance préventive systématique</b>
	Injecteur	18	
	Pompe à huile	18	
	Radiateur	18	
	Canalisation	18	
	Thermostat	18	
	Coussinet	32	

	réfrigérant	18	
--	-------------	----	--

### IV .3 Elaboration du plan de maintenance préventive :

#### Quelques opérations à effectuer:

#### ✓ Codes temporaire des opérations à effectuer :

A : opération à réaliser chaque jour avant démarrage.

B : opération à réaliser chaque semaine.

C : opération à réaliser chaque mois (la première semaine).

D : opération à réaliser chaque trimestre.

E : opération à réaliser chaque semestre

**Tableau 12 : Des opérations**

A	B	C	D	E	Opérations
.					Vérifier le niveau du liquide de refroidissement
		.			Vérifier le niveau de l'huile de graissage
				.	Nettoyer entre les ailettes du radiateur de refroidissement d'huile
			.		Renouveler l'huile de graissage et le filtre
	.				Contrôler le système de refroidissement
		.			Vidanger l'eau/sédiments du filtre de combustible primaire
			.		Vérifier le passage d'air dans le radiateur (visuel)
				.	S'assurer que les injecteurs de combustible sont vérifiés et corrigés ou remplacés, si nécessaire
		.			Vérifier les indicateurs de passage d'air des filtres à air et, si nécessaire, remplacer les cartouches des filtres
.					Graisser le palier du moteur
		.			Vérifier la pompe à huile
		.			Nettoyer ou remplacer de filtre gasoil
	.				Contrôler la fuite éventuelle sur le corps de pompe à eau
				.	Contrôler le calage de la pompe d'injection

#### IV .4 Plan de maintenance préventive des éléments critique :

**Tableau 13 : Plan de maintenance recommandé**

Eléments	Actions de maintenance	Intervalles
Filtre à huile	Nettoyer, remplacer	Toutes les 500 heures
Pompe à huile	Contrôler l'état des pignons	Chaque mois
Radiateur	Contrôler les fuites de pression, le niveau d'eau	A chaque utilisation
Pompe à eau	Contrôler la fuite éventuelle sur le Corps de pompe, lubrifier	Toutes les 150heures de fonctionnement
Thermostat	Vérifier le clapet ou le ressort	Chaque année
Turbocompresseur	Vérifier l'encrassement	Chaque année
Pompe d'injection	Contrôler le calage	Chaque année
Injecteur	Vérifier l'étanchéité, l'aiguille	Toutes les 1000 heures
Filtre gasoil	Nettoyage ou remplacer	Chaque mois
Filtre à air	Nettoyer	Chaque mois
Canalisations	Contrôler la fissure	Chaque semaine
Tuyau d'échappement	Contrôler la fissure, examen de la Couleur fumée d'échappement	A chaque utilisation
Vilebrequin	Contrôler l'état de surface, mesurer l'ovalisation et la conicité des manetons	Chaque année
Bielle	Vérifier l'équerrage et le vrillage	Chaque année
Piston	Contrôler diamètre, bagues de l'axe	Chaque année
Bloc cylindre	Contrôler l'ovalisation	Chaque année
Culasse	Contrôler la surface	Chaque année
Soupapes	Contrôler le jeu des soupapes	Chaque année
Coussinets	Contrôler l'état de surface,	Chaque année
Arbre à came	Arbre à came	Chaque année
carter	Contrôler le niveau d'huile ainsi que d'éventuelles fuites	Chaque année
Liquide de refroidissement	Remplacement	Toutes les 10000 heures de fonctionnement

#### Recommandation :

Les notes suivantes sont évoquées à l'aide de la méthode AMDEC afin d'améliorer lecomportement de moteur diesel :

- ✓ Une attention particulière est imposée aux éléments de criticité élevée afin de réagir convenablement et d'éviter tout réaction tardive.

- ✓ Les systèmes engendrent beaucoup plus de pannes dans les moteurs diesel sont les systèmes lubrification, refroidissement et injection. Un stock contient les pièces de rechange nécessaires est indispensable afin d'éviter les arrêts de pannes de longue durée.
- ✓ La prise en considération des indications du plan de maintenance proposé.
- ✓ L'installation des systèmes de filtrage de poussière.
- ✓ Amélioration de la manière de conduite de chauffeur.
- ✓ Amélioration de la maintenance préventive et organisation des ateliers de réparation.
- ✓ Plus de formation et de sensibilité du personnel technique de la maintenance.
- ✓ Utilisation du liquide spéciale pour le circuit de refroidissement pour réduire le problème de surchauffe moteur et prolonger leur durée de vie.
- ✓ Sensibiliser les chauffeurs pour éviter l'eau de SONEDE comme liquide de refroidissement et s'adresser le cas échéant au service technique.

#### **IV .5 Conclusion :**

L'étude réalisée, à travers ce chapitre, nous a permis de déduire ce que suit :

A l'aide de la méthode de Pareto, nous avons constaté que les systèmes mécaniques et ceux de refroidissement sont les systèmes les plus excitants la majorité des arrêts et pannes des moteurs diesel.

L'analyse AMDEC est utilisée afin d'adopter l'action de maintenance préférée. Cependant, cette méthode nous a permis de classer d'un part, les éléments concernés selon leurs criticités et de conclure leurs actions correctives d'autre part, que les maintenances préventive et corrective sont indispensables pour les moteurs diesel utilisés dans les bus de SRTGN.



## **Conclusion générale :**

La productivité et le rendement des entreprises sont fortement liés au bon fonctionnement des bus. Ces derniers sont souvent soumis aux pannes, arrêts ou au mal fonctionnement provoquant des diminutions des revenus des entreprises. De cet effet, la maintenance du moteur de bus joue un rôle majeur à la stabilité de l'économie et la bonne démarche des stratégies de l'entreprise. Grâce à son rôle ; elle est devenue une tâche essentielle nécessitant un approfondissement. Elle permet de réduire l'incidence des pannes ou plutôt les éviter ainsi que de prolonger la durée de vie des moteurs. Cependant, il existe des méthodes d'analyse permettant de traiter les types, les effets et les causes de pannes. Parmi ces méthodes la méthode AMDEC (Analyse des Modes de Défaillances de leurs Effets et leurs Criticités), elle mène par son principe à une classification des pannes selon leurs criticités.

Le présent travail porte sur la contribution à la maintenance des moteurs diesel existants au bus de SRTGN. Les bus de cette société propulsés par des moteurs diesels. La méthode de PARETO nous a permis grâce à son diagramme de classer les systèmes provoquant des pannes d'après les heures d'arrêts. Par la suite, nous avons à l'aide du diagramme de l'ISHIKAWA, déduit les causes et les effets de ces pannes. Puis, par la méthode AMDEC nous avons réalisé une analyse des modes de défaillances selon leurs criticités (Pompe d'injection, radiateur, réfrigérant...).

L'analyse réalisée, nous a permis de conclure d'une part que, les pannes des moteurs diesels OM457 hLA dans les bus de la SRTGN sont dues par plusieurs facteurs : la présence de poussière, le manque d'une stratégie de maintenance ...). D'autre part, de proposer un plan de maintenance préventive approprié dans le but d'améliorer les conditions de travail et d'augmenter la durée de vie des engins.

# Bibliographie

- [1] : Polycopie moteur a combustion interne, université des sciences et de technologies d'Oran, Mohamed Boudiala 2015
- [2] : Site internet : wikipedia.org, le moteur diesel , Mai 2017
- [3] :Jean Pallas , guide pratique d'entretien et de réparation des moteurs diesel
- [4] : Site internet Selection.readersdigest.com Mai 2017
- [5] : Site www.wikipediaorg.com, Moteur Mercedes BENZ OM457 hLA Janvier 2020
- [6] : Site web, researchgate.net Septembre 2018
- [7] : Site web labonnepompe.com Avril 2021
- [8] : Site web Valeoservice.fr
- [9] : Site web automemo.fr/cours lubrification PDF
- [10] : Norme AFNOR
- [11] : Cours méthode maintenance 4 éme niveau 2016
- [12] :Iset Nabeul introduction a la maintenance 2014
- [13] : Site web :www.picmoto.com
- [14] : 2éme année académique maintenance, Chapitre02 : les formes de maintenance, Dr Aouad
- [15] : Nicolas Pollant, méthodologie dynamique
- [15] : ]Nicolas PALLUAT, « Méthodologie de surveillance dynamique à l'aide des réseaux neuro-flous temporels ». Thèse présentée à L'UFR des Sciences et Techniques de l'Université de Franche-Comté pour obtenir le GRADE De Docteur De l'université De FRANCHE-COMTE en Automatique (Ecole Doctorale Sciences Physiques pour l'Ingénieur et Microtechniques), janvier 2006.
- [16] KELADA. J, 1994, l'AMDEC, École des Études Commerciales : Centre d'étude En qualité totale.
- [17]MONCHY F, CLAUDE KOJCHEN. « MAINTENANCE Outils, méthodes et organisations pour une meilleure performance » 4e édition DUNOD, Paris, 2015.
- [18] AMIRA Messaoud, BOULECHEFAR Aissam. « Optimisation et amélioration de la maintenance par la fiabilité Cas d'une turbine d'une centrale électrique, Département de Génie Mécanique.2019.
- [19] <https://blog-gestion-de-projet.com> Décembre 2019