



République Tunisienne
Ministère de l'Enseignement Supérieur,
de la Recherche Scientifique



Université de Gafsa
Institut Supérieur des Sciences Appliquées et de Technologie de GAFSA
Département de maintenance des engins lourds



Titre

**Analyse des systèmes d'injection classique et électrique
et diagnostique des problèmes**

Mémoire présenté et soutenu par :
Salhi Radhia

Sous la direction de :
Mr.Miraoui Imed

Soutenu le :
07/06/2023

Devant le jury composé de :

**Président :
Rapporteur :
Encadreur :**

Encadreur industriel :

**Mme. AJMI Ines
M. SOUA Wadhah
M. MIRAOUI Imed
M. DHAHRI Nouredine**

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A tout ce qu'ils ont enduré pour satisfaire toutes mes sollicitudes en espérant assister à ce jour bien distingué.

A mon père qui laisse un grand vide dans ma vie, même s'il ne semble pas être avec moi que je ne peux pas le toucher. Je sais qu'il veillera toujours sur moi comme il l'a toujours fait.

Papa, tu me manques déjà. Que dieu, le miséricordieux, vous accueille dans son éternel paradis. A ma mère que dieu la préserve en bonne santé et mes frères, et mes sœurs.

A tous mes amis qui m'ont soutenu encore mes sincères remerciements s'adressent également à tous les membres du jury. C'est un grand honneur pour moi que vous avez bien voulu accepter de juger ce travail



Remerciements

*En premier lieu, je tiens à remercier mon **DIEU** qui m'a donné le courage, la force et la volonté pour réaliser ce modeste travail.*

*Je présente également à cette occasion mes chaleureux remerciements à mon encadrant Mr. **Imed Miraoui** et mon Co-encadrant Mr. **Dhahri Nouredine** pour leurs aides et leurs suivis rigoureux.*

Nos vifs remerciements vont également à Mme Ines Ajmi et M. Wadhah Soua pour nous avoir fait l'honneur d'être membres de jury, ainsi que pour avoir consacré une partie de leur temps précieux pour lire et corriger ce rapport.

Enfin nous adressons un très grand merci à tous ceux qui ont, de près ou de loin, participé à la réalisation de ce travail.

MERCI À TOUS



Glossaire

AMDEC : analyse des modes de défaillance et de leur criticité

RPN : Niveau de Priorité de Risque en anglais « Risk Priority Number »

RCFA : analyse des causes racines et des défaillances

C : Cotation de la criticité

F : La fréquence de la cause de la défaillance

G : La gravité

D : Détection

PI&D : Piping & Instrumentation diagram (schéma tuyauterie et instrumentation).

PON : procédures opérationnelles normalisées.

NOx : oxydes d'azote (Nitrogen Oxides en anglais), Les émissions de NOx contribuent à la pollution atmosphérique et peuvent avoir des effets néfastes sur la santé humaine et l'environnement.

SOX : oxydes de soufre (Sulfur Oxides en anglais), qui sont des composés chimiques formés par la combustion du soufre, en particulier dans les combustibles fossiles.

PM : signifier "Particulate Matter" en anglais, en français "particules fines".sont de petites particules solides ou liquides en suspension dans l'air, souvent produites par les émissions industrielles ou d'autres sources. Elles peuvent avoir un impact sur la qualité de l'air et la santé humaine.



Liste des Figures

| | |
|--|----|
| Figure 1 : circuit de système d'injection | 17 |
| Figure 2 : Systèmes d'injection classiques | 18 |
| Figure 3 : Systèmes d'injection électroniques | 19 |
| Figure 4. Échelle du marché de l'industrie mondiale des moteurs diesel en | 20 |
| Figure 5 : diagramme d'analyse des pannes du système de carburant d'un moteur diesel | 26 |
| Figure 6 : Schéma fonctionnel du système de carburant d'un moteur diesel | 34 |
| Figure 7 : Diagramme de priorité des défaillances des composants à partir du RPN | 37 |
| Figure 8 : Diagramme de Pareto du RPN des composants du système de carburant | 37 |
| Figure 9: buse d'injection | 39 |
| Figure 10: Analyse de défaillance du cas racine à l'aide du diagramme d'Ishikawa | 40 |
| Figure 11 : Maintenance stratégique en cas de panne d'injecteur | 41 |

Liste des Tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 1 : Le potentiel humain | 13 |
| Tableau 2 : Classements des paramètres d'index (G, F et D) pour l'estimation du RNP | 25 |
| Tableau 3 : Structure générale de la matrice RPN | 28 |
| Tableau 4 : Critères stratégiques de maintenance | 28 |
| Tableau 5 : Mode de défaillance et analyse des effets du système de carburant | 35 |
| Tableau 6. Résultat du calcul RPN indexé | 37 |

Sommaire

| | |
|---|----|
| Introduction | 9 |
| Chapitre 1 : Etat de l'art | 11 |
| I- Présentation générale de l'entreprise | 12 |
| 1. Introduction | 12 |
| 2. Présentation de la SRTG et de son potentiel Humain | 12 |
| 2.1 Présentation générale de la SRTG | 12 |
| 2.2 Le potentiel humain | 13 |
| 2.3 La flotte de la SRTG | 14 |
| 3. Les enjeux de la SRTG | 14 |
| 4. Conclusion | 15 |
| Chapitre 2 : généralité sur les systèmes d'injections du carburant | 16 |
| I- Introduction | 17 |
| 1. Importance des systèmes d'injection | 17 |
| 2. Circuit d'injection et principe de fonctionnement | 17 |
| 2.1 Circuit de système d'injection | 17 |
| 2.2 Principe de fonctionnement du système d'injection | 18 |
| 2.3 Rôle et types de systèmes d'injection | 18 |
| 2.4 Systèmes d'injection classiques | 18 |
| 2.5 Systèmes d'injection électroniques | 19 |
| II- Problématique | 19 |
| III- Etude bibliographie | 20 |
| 5. Conclusion | 22 |
| Chapitre 3 : Etude de la méthode AMDEC sur un système d'injection du carburant | 23 |
| I- Introduction | 24 |
| II- Méthodes | 24 |
| 1- Collecte des données | 24 |
| 2- La Méthode d'analyse (AMDEC) | 26 |
| 3- Méthode de l'analyse des causes racines et des défaillances (RCFA) | 28 |
| 6. Conclusion | 30 |
| Chapitre4 : Analyse des systèmes d'injection à l'aide de la méthode AMDEC et RCFA | 31 |
| I- Introduction | 32 |

| | |
|--|----|
| II- Résultats et discussion | 33 |
| 1- Études de cas et diagrammes en bloc des composants principaux du système de carburant du moteur | 33 |
| 2. Analyse AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) | 36 |
| 3. Analyse RCFA | 38 |
| 4. Recommandations | 40 |
| 7. Conclusion | 41 |
| Conclusion | 43 |
| Références bibliographiques | 44 |

Introduction

Parmi tous les types de machines électriques, le moteur diesel joue un rôle important dans les transports, l'industrie, l'agriculture et la construction de la défense nationale en raison de ses caractéristiques de puissance élevée, d'efficacité thermique élevée, de fiabilité élevée, d'entretien pratique et de longue durée de vie [1].

Plus précisément, dans le domaine du transport routier, le moteur diesel est la principale source d'énergie et occupe une position prépondérante.

En tant que "cœur" de l'autobus, la puissance, l'efficacité et les niveaux d'émission du moteur diesel ont un impact direct sur l'efficacité globale et la sécurité de fonctionnement de l'autobus. Cependant, le moteur diesel produit une grande quantité de NOx, de particules fines (PM) et de SOx lors de son fonctionnement, ce qui a un impact considérable sur l'environnement atmosphérique.

Surtout à l'heure actuelle, avec l'intensification de la crise mondiale de l'énergie et de la pollution de l'environnement, les réglementations pertinentes imposent des exigences de plus en plus strictes en matière de consommation de carburant et d'émissions polluantes des moteurs.

Ce mémoire a pour but d'étudier et d'analyser les systèmes d'injection de carburant afin de comprendre leur fonctionnement et d'identifier les éléments essentiels qui influent sur l'injection du carburant. En utilisant une approche systématique pour étudier, analyser et diagnostiquer les systèmes d'injection, il est possible de résoudre efficacement les problèmes de moteur liés au carburant et d'optimiser les performances et l'efficacité du moteur.

Ce mémoire se compose de quatre chapitres qui abordent l'étude du système de carburant d'un moteur, en mettant l'accent sur les systèmes d'injection. Le premier chapitre donne une idée globale sur la SRTG et se concentre sur les différents systèmes d'autobus, en particulier le système d'injection de carburant.

Le deuxième chapitre situe le travail dans son contexte général en présentant une vue d'ensemble des systèmes d'injection de carburant, leur fonctionnement et leurs différents types. Il aborde également les défauts possibles dans ces systèmes.

Le troisième chapitre explore en détail deux méthodes d'analyse fondamentales appliquées au système d'injection. La première méthode est l'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité), qui permet d'identifier les modes de défaillance potentiels, d'évaluer leurs impacts et de prioriser les actions correctives. La deuxième méthode abordée est l'analyse des causes racines et des défaillances, qui permet de déterminer les facteurs sous-jacents responsables des problèmes observés dans le système d'injection.

Le dernier chapitre se concentre sur une exploration approfondie du système de carburant du moteur en utilisant des études de cas, des diagrammes en bloc et des analyses méthodiques. L'objectif principal est d'identifier les modes de défaillance potentiels, d'évaluer leurs effets et leur criticité à l'aide de l'Analyse AMDEC, et d'analyser les causes profondes des défaillances grâce à l'Analyse RCFA. Ce chapitre se conclut par des recommandations pratiques basées sur les résultats des études de cas et des analyses effectuées. Ces recommandations visent à optimiser la fiabilité, l'efficacité et la sécurité du système de carburant en mettant en place des actions concrètes telles que la maintenance préventive, la surveillance continue et l'amélioration des procédures opérationnelles.

Chapitre 1 : Etat de l'art

I- Présentation générale de l'entreprise

1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons donner tout d'abord une idée globale sur la SRTG. Ensuite, nous allons s'intéresser aux différents systèmes d'autobus et notamment le système d'injection des carburant.

2. Présentation de la SRTG et de son potentiel Humain

2.1 Présentation générale de la SRTG

La société régionale de transport de Gafsa El GOUAFEL Gafsa créée en mars 1963, est une entreprise publique tunisienne dont l'activité est d'assurer le transport de voyageurs par autobus dans la région du gouvernorat de Gafsa, de Sidi Bouzid et de Tozeur et de ceux qui leurs sont limitrophes.

La SRTG assure la liaison entre ces régions et d'autres gouvernorats du pays par le biais de lignes quotidiennes régulières. Pour réaliser son activité, la SRTG exploite 257 véhicules offrant 21,348 mille places dont 9020 assises et 12328 debout.

Durant l'année 2017, la SRTG a réalisé un chiffre d'affaire de 11,3 millions de dinars et a transporté 22,5 millions de personnes réalisant ainsi une recette de 1,1 dinar par kilomètre et 0,5 dinars par voyageur transporté.

En 2017, les véhicules de la société ont consommé 3349 milles de litres de gazole et ont parcouru 9.6 millions de kilomètres réalisant ainsi une consommation moyenne globale de 35,5 litres aux 100 kms.

A la même année les quatre principales charges d'exploitation à savoir le carburant, les pièces de rechange, les pneus et les lubrifiants ont atteint les 5,4 millions dinars engendrant un cout de 0,6 dinars au kilomètre.

2.2 Le potentiel humain

| | | Administration | Maintenance | Exploitation | | | Total |
|-----------------|-----------|----------------|-------------|---------------|-----------|----------|-------|
| | | | | Administratif | Chauffeur | Receveur | |
| Cadre | Titulaire | 40 | 15 | 04 | | | 59 |
| Maitrise | | 8 | 22 | 22 | | | 52 |
| Exécution | | 34 | 53 | - | 269 | 30 | 386 |
| Total | | 82 | 90 | 26 | 269 | 30 | 497 |
| Agent/ Véhicule | | 0.29 | 0.32 | 0.09 | 0.97 | 0.11 | 1.79 |

Tableau 1 : Le potentiel humain

Il est intéressant de signaler que tous les employés de la SRTG sont titulaires.

La lecture du tableau 1.1. Fait apparaître les principaux points suivants :

- Le personnel rattaché à l'exploitation représente 61% de l'ensemble du personnel de l'entreprise suivi du personnel de la maintenance avec 22 % et du personnel administratif avec 17%.
- Les cadres sont au nombre de 64 représente 14% du total de l'effectif.
- Les ratios agent de maintenance / véhicule et chauffeur / véhicule valent respectivement 0,45 et 1,05.

Ces ratios sont à considérer avec prudence. Il faut éviter de les interpréter sous leur forme globale à cause de la multitude des facteurs qui caractérisent une activité donnée.

2.3 La flotte de la SRTG

La SRTG, a connu une évolution significative de sa flotte de bus. Actuellement, elle exploite un total de 257 véhicules, offrant ainsi 21.348 mille places aux passagers. Récemment, la SRTG a pris des mesures pour renforcer sa flotte en acquérant cinq nouveaux bus dédiés au transport scolaire en 2022. Ces nouveaux véhicules seront spécifiquement alloués aux gouvernorats de Gafsa, Sidi Bouzid et Tozeur, offrant ainsi un moyen de transport sûr et efficace aux étudiants de la région.

De plus, la SRTG prévoit d'étendre davantage sa flotte en acquérant 14 nouveaux autobus. Cette acquisition future permettra à l'entreprise de répondre à la demande croissante de transport en offrant des services de qualité supérieure à un plus grand nombre de passagers. Ces nouveaux autobus contribueront à améliorer la connectivité et la mobilité dans les régions desservies par la SRTG, offrant ainsi aux résidents et aux visiteurs un moyen de transport fiable et confortable.

Grâce à ces ajouts récents et futurs à sa flotte, la SRTG démontre son engagement envers l'amélioration continue de ses services de transport. L'entreprise s'efforce de répondre aux besoins en constante évolution de la communauté, en offrant des solutions de mobilité efficaces, sûres et respectueuses de l'environnement.

3. Les enjeux de la SRTG

Pour assurer le bon fonctionnement de sa flotte et minimiser les pannes, l'entreprise est confrontée à des enjeux importants, notamment en raison de la concurrence croissante sur le marché. Afin de rester compétitive, elle doit mettre en place des méthodes d'analyse et de diagnostic avancées pour évaluer en permanence les systèmes de ses autobus.

Un des principaux aspects à prendre en compte est le système hydraulique, qui joue un rôle essentiel dans le bon fonctionnement des différents composants du véhicule. Des contrôles réguliers doivent être effectués pour détecter toute fuite ou dysfonctionnement pouvant entraîner des pannes ou des accidents.

De plus, le système de freinage est d'une importance vitale pour la sécurité des passagers et du conducteur. Des inspections régulières et des tests de performance doivent être effectués pour garantir que les freins sont en bon état de fonctionnement et répondent aux normes de sécurité.

Le système de direction est également crucial, car il assure la maniabilité du véhicule. Des contrôles périodiques de l'alignement des roues et de la direction assistée sont nécessaires pour éviter les problèmes de manipulation et d'usure prématurée des pneus.

Quant au système de transmission, il doit être surveillé attentivement pour détecter tout signe de dysfonctionnement ou d'usure excessive. Des vidanges régulières de l'huile de transmission et des inspections des composants internes sont essentielles pour maintenir la performance et la durabilité de la transmission.

En ce qui concerne le système de propulsion, une attention particulière doit être portée au système d'injection de carburant. Une analyse précise des paramètres d'injection et des performances du moteur permet de réduire la consommation de carburant, d'améliorer l'efficacité énergétique et de minimiser les pertes de puissance.

En somme, l'entreprise doit consacrer des ressources considérables à la maintenance préventive, aux contrôles réguliers et aux diagnostics approfondis de ses autobus. En identifiant et en résolvant rapidement les problèmes potentiels, elle peut garantir une flotte opérationnelle fiable et efficiente, répondant ainsi aux attentes des clients tout en restant compétitive sur un marché de plus en plus concurrentiel.

4. Conclusion

La SRTG présente un potentiel humain solide avec un personnel réparti entre l'administration, la maintenance et l'exploitation. Sa flotte de 257 véhicules, récemment renforcée par l'acquisition de nouveaux bus, lui permet d'assurer le transport des voyageurs dans les régions desservies.

Cependant, l'entreprise doit relever des défis importants, notamment en termes de concurrence et de maintenance préventive, pour garantir un service de qualité et rester compétitive sur le marché. En investissant dans l'analyse et le diagnostic avancés, la SRTG s'efforce d'améliorer continuellement ses services et de répondre aux besoins en constante évolution de la communauté.

Chapitre 2 : généralité sur les systèmes d'injections du carburant

I- Introduction

Dans ce chapitre introductif, nous situons notre travail dans son contexte général. Nous commencerons par présenter une vue d'ensemble des systèmes d'injection de carburant, en expliquant leur fonctionnement et leurs différents types. Enfin, nous aborderons les divers défauts qui peuvent être rencontrés dans ces systèmes d'injection.

1. Importance des systèmes d'injection

Les systèmes d'injection de carburant sont une partie essentielle du système de propulsion des véhicules modernes. Ils jouent un rôle important dans la combustion efficace du carburant et l'optimisation de la puissance du moteur. Les systèmes d'injection modernes permettent également de réduire les émissions de gaz d'échappement et de répondre aux normes environnementales strictes.

2. Circuit d'injection et principe de fonctionnement

2.1 Circuit de système d'injection

Le circuit d'injection comprend un réservoir de carburant, une pompe à carburant, un filtre à carburant, un régulateur de pression (pompe haute pression), des injecteurs et un calculateur de gestion moteur.

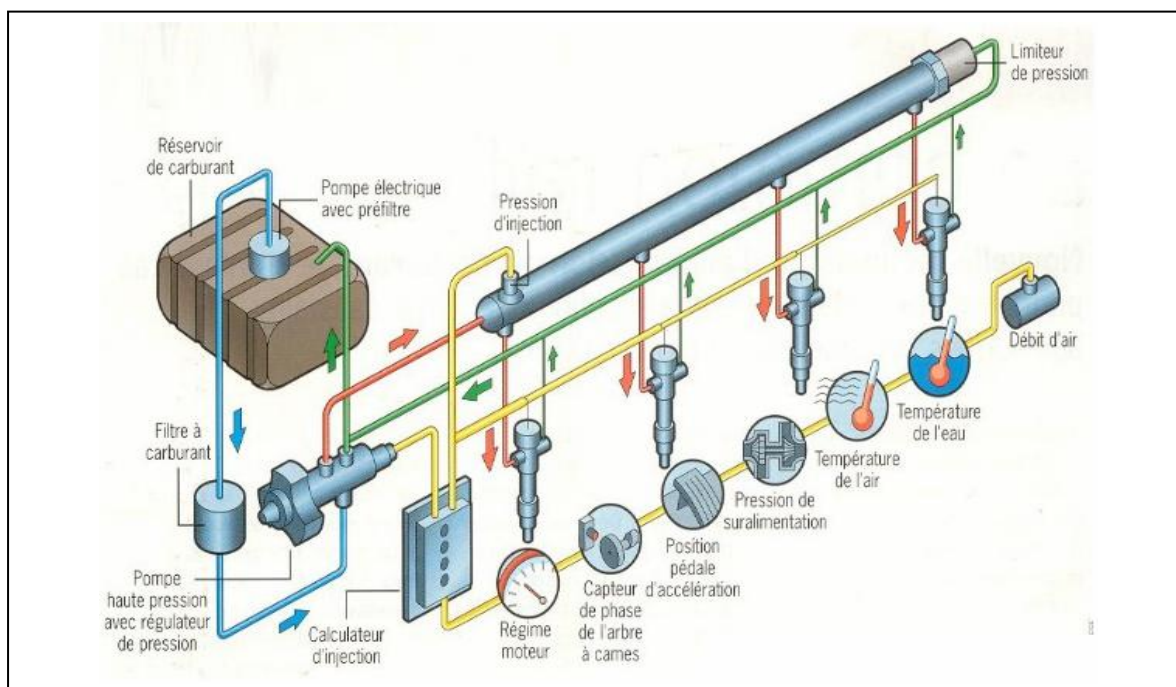


Figure 1 : circuit de système d'injection

2.2 Principe de fonctionnement du système d'injection

Le principe de fonctionnement est que la pompe à carburant aspire le carburant du réservoir, le filtre à carburant nettoie le carburant et le régulateur de pression contrôle la pression de carburant. Le calculateur de gestion moteur reçoit des informations des différents capteurs, analyse ces données et ajuste la quantité de carburant injectée dans les cylindres en fonction des besoins.

2.3 Rôle et types de systèmes d'injection

Le rôle des systèmes d'injection de carburant est de pulvériser une quantité précise de carburant dans les cylindres du moteur en fonction des conditions de conduite. Il existe deux types principaux de systèmes d'injection : les systèmes d'injection classiques et les systèmes d'injection électroniques.

2.4 Systèmes d'injection classiques

Les systèmes d'injection classiques utilisent un carburateur pour mélanger le carburant avec l'air avant de l'injecter dans les cylindres du moteur. La pompe à injection est directement reliée à chacun des injecteurs. Elle envoie sous pression du carburant à chacun d'entre eux. Un calculateur contrôle et ouvre les injecteurs au moment adéquat

Ce type de système est moins précis que les systèmes d'injection électroniques et est moins efficace sur le plan énergétique. Les systèmes d'injection classiques sont encore utilisés sur les véhicules plus anciens et certains moteurs de compétition.

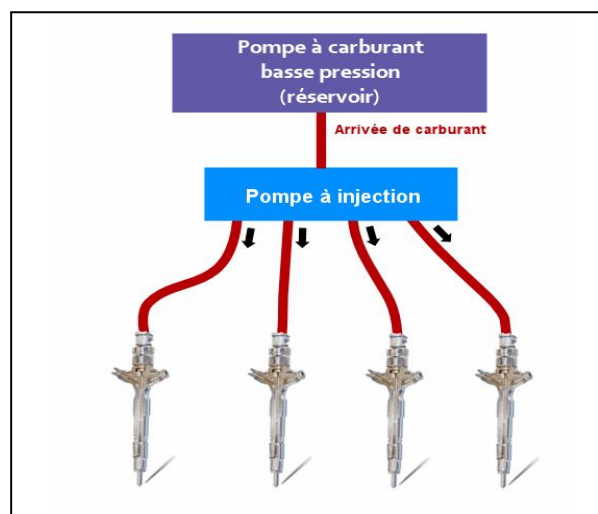


Figure 2 : Systèmes d'injection classiques

2.5 Systèmes d'injection électroniques

Les systèmes d'injection électroniques est appelée aussi système à rampe commune «common rail», ils utilisent des injecteurs électroniques pour pulvériser le carburant directement dans les cylindres.

Dans ce système, les injecteurs sont alimentés par une rampe commune et pilotés électroniquement par un calculateur d'injection. L'injection « common rail » se comporte comme un accumulateur de carburant qui permet d'obtenir une pression d'injection plus élevée et une meilleure répartition du carburant dans les cylindres.

Ce type de système est plus précis et plus efficace sur le plan énergétique que les systèmes d'injection classiques. Les systèmes d'injection électroniques sont maintenant couramment utilisés sur les véhicules modernes.

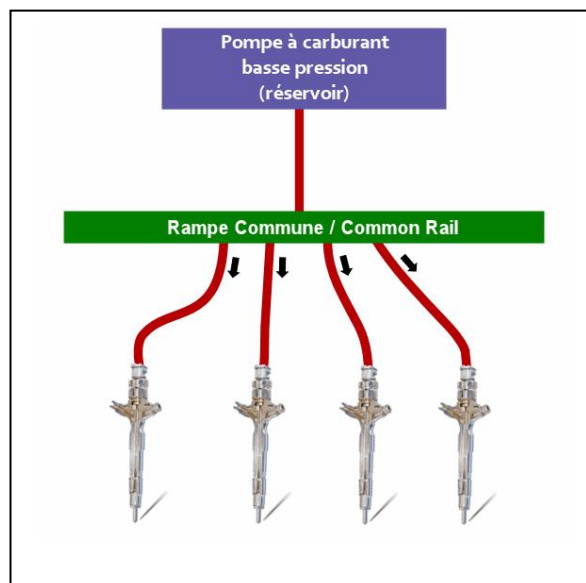


Figure 3 : Systèmes d'injection électroniques

II- Problématique

La problématique porte sur les composants importants du moteur principal utilisé dans les autobus, qui joue un rôle crucial dans la propulsion du véhicule lors de son fonctionnement. Les moteurs diesel sont couramment utilisés, selon les prévisions de l'Institut de recherche en technologie industrielle, le marché mondial des moteurs diesel devrait augmenter de 30% entre 2020 et 2025 par rapport à 2019, comme illustré dans la figure 4.

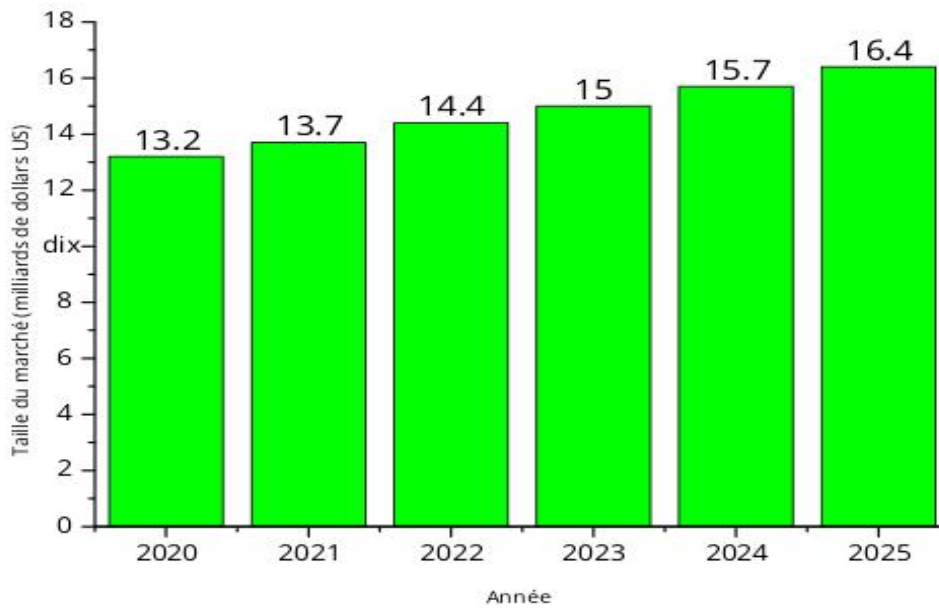


Figure 4. Echelle du marché de l'industrie mondiale des moteurs diesel en 2020-2025

à cet effet en raison de leur efficacité et de leurs performances supérieures lors d'une utilisation prolongée. Ces moteurs offrent une consommation de carburant plus économique et une puissance accrue par rapport aux moteurs à essence. Cependant, le fonctionnement continu du moteur principal pendant de longues périodes entraîne une détérioration de la qualité de ses composants, pouvant aller jusqu'à leur défaillance.

Les défaillances des composants du moteur principal peuvent causer des dommages graves à l'ensemble du système, entraînant ainsi des pertes importantes et un risque élevé. Ces défaillances peuvent également provoquer des accidents d'autobus, qui sont souvent dus à des facteurs humains et à la complexité de la machine. En se basant sur des incidents passés, il est donc nécessaire d'analyser en détail les défaillances, en particulier des composants clés, et de les prendre en compte dans les opérations des autobus pour garantir leur sécurité et leur fiabilité.

III- Etude bibliographie

Plusieurs études ont été menées en utilisant différentes méthodes pour détecter les défaillances du système. L'une d'entre elles est Windyandari [2], qui utilise des techniques de diagnostic importantes pour déterminer les causes et les conséquences des défaillances du

moteur, ce qui constitue un point important pour résoudre les problèmes de défaillance du moteur.

Les méthodes pouvant être utilisées pour trouver la cause et l'effet de la défaillance du système ou de la machine sont l'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) et l'ARCF (Analyse des Causes Fondamentales de Défaillance). La recherche d'Anthony et al [3] utilise l'AMDEC pour analyser les dommages au moteur Hot Roller.

Les résultats permettent de déterminer la cause en utilisant le diagramme de Pareto comme résultat du RPN (Risk Priority Number) par composant. Une autre étude examine l'analyse de la défaillance de la pompe à carburant dans les moteurs diesel en utilisant la méthode AMDEC.

Le résultat montre que le composant de la plaque de came a une valeur RPN élevée, ce qui en fait la cause principale de la défaillance [4].

De plus, la défaillance du moteur diesel est analysée en utilisant la valeur RPN la plus élevée. Le résultat est que le piston est la cause des dommages au bloc-cylindres, ce qui provoque la défaillance du moteur diesel [5]. Outre les défaillances du moteur, l'étude de Li et al. [6] analyse les défaillances des éoliennes qui sont divisées en trois catégories en utilisant la méthode AMDEC. En conséquence, le système d'amarrage est identifié comme la cause de la défaillance.

D'autre part, l'utilisation de l'ARCF permet d'analyser plus en détail les causes et les effets des défaillances dans les processus et les systèmes. Une des études menées par Masriera et al. [7] a utilisé la méthode ARCF pour analyser les défaillances, notamment en utilisant un diagramme d'Ishikawa pour rechercher les variables ayant causé la rupture de la barre de démarrage.

L'utilisation du diagramme d'Ishikawa dans la méthode ARCF permet d'analyser la défaillance du système de générateur de réacteur 500 kV due aux vibrations du réacteur [8]. De plus, l'utilisation du diagramme d'Ishikawa dans la méthode ARCF permet d'analyser la défaillance du support de montage du silencieux due au matériau [9]. Actuellement, l'ARCF peut être utilisée pour analyser les causes des dommages et réparer les machines auxiliaires, telles que les convoyeurs, ce qui facilite le processus de réparation.

Plusieurs méthodes sont couramment utilisées pour analyser les défaillances des machines. Cependant, ces méthodes doivent se renforcer mutuellement pour permettre une analyse plus précise. L'utilisation combinée des méthodes AMDEC et ARCF pour analyser les défaillances du moteur principal est encore largement utilisée.

5. Conclusion

la problématique abordée concerne les défaillances des composants clés du moteur principal des autobus, qui peuvent entraîner des pertes importantes et un risque élevé. Différentes études ont été réalisées pour détecter et analyser ces défaillances, en utilisant des méthodes telles que l'AMDEC et l'ARCF.

Ces méthodes permettent d'identifier les causes et les effets des défaillances, ainsi que de proposer des solutions de réparation et de prévention. Cependant, il est important de combiner ces méthodes pour une analyse plus précise et une meilleure fiabilité du moteur principal.

Chapitre 3 : Etude de la méthode AMDEC sur un système d'injection du carburant

I- Introduction

Dans ce chapitre, nous nous concentrons sur l'étude de deux méthodes d'analyse fondamentales appliquées au système d'injection. Nous commençons par examiner les techniques de collecte de données utilisées pour recueillir des informations précieuses sur le fonctionnement et les performances du système.

Ensuite, nous explorons en détail la méthode d'analyse AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité), qui nous permet d'identifier les modes de défaillance potentiels, d'évaluer leurs impacts et de prioriser les actions correctives.

Enfin, nous abordons la méthode d'analyse des causes racines et des défaillances, qui nous aide à déterminer les facteurs sous-jacents responsables des problèmes observés dans le système d'injection.

II- Méthodes

1- Collecte des données

La détermination de l'objet de la recherche est effectuée sur des autobus de transport de la SRTG. Un autobus de la marque Mercedes (nombre de places 32 assises et 90 debout carrossés localement par la société ICAR). Les données sur les composants du moteur principal ont été obtenues à partir du P&ID (Diagramme de tuyauterie et d'instrumentation) du manuel du moteur.

La définition du flux de processus par composant dans le système du moteur diesel est basée sur des études bibliographiques, des entretiens et des observations, de manière à pouvoir être présentée sous forme de diagrammes en blocs. La collecte de données sur les dommages, le mécanisme de défaillance, les effets de la défaillance, la détection de la défaillance, la gravité, le taux d'occurrence et le taux de détection ont été obtenus à partir d'une combinaison d'études bibliographiques et d'entretiens avec plusieurs membres de service de maintenance de la SRTG. Le processus d'entretien a été réalisé auprès des mécaniciens qui ont connu des cas, car ils comprenaient mieux le processus et le traitement des machines utilisées. L'entretien a été mené avec experts, ayant plus de 5 ans d'expérience. La standardisation et la cohérence de

l'évaluation des entretiens d'experts sont effectuées selon les directives présentées dans le tableau 2.

| Effet | Niveau de gravité (G) | la fréquence de la cause de la défaillance (F) | Critères de détection (D) | Notation/ Escalader |
|--------------------------|--|---|--|---------------------|
| Dangereux | Lorsque l'effet du mode de défaillance potentiel sans notification | Très élevé : l'échec est presque inévitable (1-2 fois dans opération) | Les actions de contrôle ne sont pas disponibles (Non possible) | 10 |
| Très haut | Lorsqu'une panne potentielle effet de mode | Très élevé : l'échec est presque inévitable (3-4 fois dans opération) | Possibilité extrêmement faible de s'en apercevoir la panne (très lointaine) | 9 |
| Haut | Système inutilisable en raison d'une défaillance destructive | Élevé : échec répété, processus A qui a souvent échoué (5-8 fois en fonctionnement) | Faible possibilité de remarquer le panne (à distance) | 8 |
| Modérément Haut | Système inutilisable en raison d'un échec sévère | Élevé : échec répété, un processus qui a souvent échoué (9 à 20 fois en fonctionnement) | Faible possibilité de remarquer les raisons pour la survenue d'une panne (faible) | 7 |
| Modérément faible | Système inutilisable avec panne mineure ou notable | Modéré : pannes peu fréquentes avec peu d'impact (21 à 80 fois en fonctionnement) | Faible chance de détecter une cause possible et le mode de défaillance qui en résulte (faible) | 6 |
| Faible | Système inutilisable avec défaillance mineure ou importante | Modéré : échecs peu fréquents avec peu d'impact (81-400 fois en opération) | Possibilité raisonnable de remarquer le raisons de l'apparition de la panne (Modéré) | 5 |
| Très lent | Système utilisable avec peu les échecs | Faible : relativement peu de pannes sont associés à des processus similaires (401-2000 fois en fonctionnement) | Possibilité raisonnablement élevée de remarquer les raisons possibles de l'apparition de ventilation (modérément élevée) | 4 |
| Très éloigné | Système utilisable avec peu relativement les échecs | Faible : relativement peu de pannes sont associées à des processus similaires (2 001 à 15 000 fois en fonctionnement) | Probabilité élevée de remarquer les raisons potentielles de l'apparition d'une panne (Élevée) | 3 |
| Eloigné | Aucun effet mais il y a une suspicion d'échec | À distance : l'échec est presque invraisemblable (Plus de 15001 fois en fonctionnement) | Très forte probabilité de remarquer le causes potentielles de panne (très élevé). | 2 |
| Aucun | Aucun effet | l'échec est impossible | Les contrôles requis sont disponibles pour détecter un mode de défaillance (Contrôles assurés) | 1 |

Tableau 2 : Classements des paramètres d'index (G, F et D) pour l'estimation du

RNP

Le processus d'activités de collecte de données est présenté dans le diagramme de flux de la figure 5.

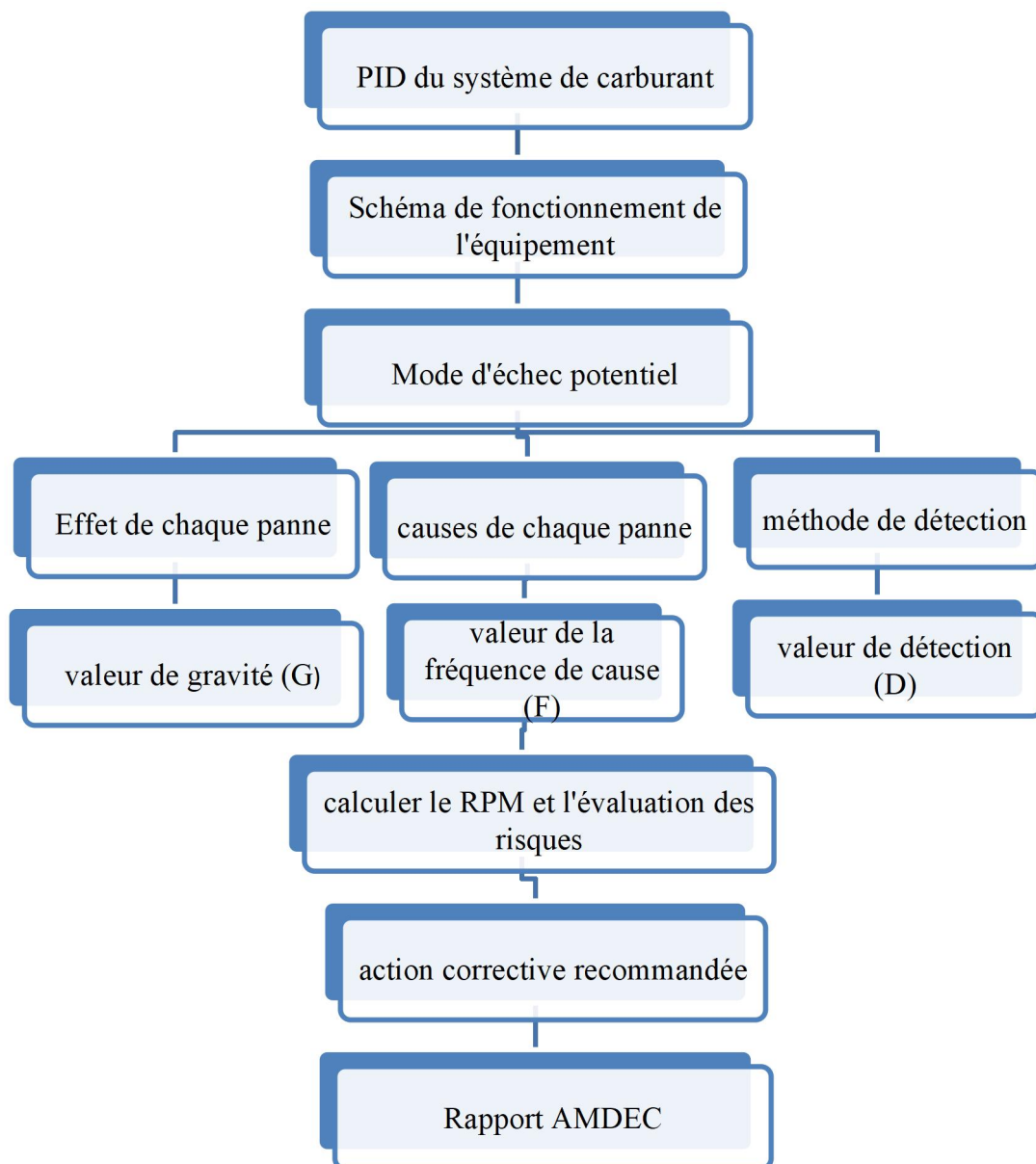


Figure 5 : diagramme d'analyse des pannes du système de carburant d'un moteur diesel

2- La Méthode d'analyse (AMDEC)

L'Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets (AMDEC) est une technique systématique permettant d'identifier, d'analyser et de prévenir les problèmes de système et de processus. L'AMDEC commence par les composants identifiés du système de carburant. La relation entre la machine et son environnement de travail doit être clairement observée afin de déterminer les effets et les causes de la défaillance. Les étapes de mise en œuvre de l'AMDEC dans cette étude sont les suivantes :

- i. Catégoriser les composants du système de carburant du moteur principal en fonction du type de défaillance.
- ii. Analyse de la fonction des composants du diagramme bloc qui a été obtenu. Chaque catégorie de fonction et chaque fonction doivent être précisées.
- iii. Identifier le mode de défaillance de chaque composant. Chaque défaillance doit détailler l'effet de la défaillance et sa fréquence d'occurrence.
- iv. Enregistrer certains effets, mécanismes, effets et détection de défaillance sur la feuille de travail de l'AMDEC.
- v. Calculer la valeur du NRP (Numéro de Risque Prioritaire) à partir des paramètres de Gravité (G), la fréquence de la cause de la défaillance (F) et du non détection (N). La valeur de NRP la plus élevée correspond aux dommages présumés sur le système de carburant du moteur principal.
- vi. Mise en œuvre des résultats de l'analyse de l'AMDEC. Cette étude utilise l'AMDEC comme méthode d'identification des défaillances en se basant sur la valeur de RPN la plus élevée, mais il est également nécessaire de prêter attention au mode de défaillance de chaque composant. En général, les paramètres de défaillance des composants peuvent être déterminés en calculant la valeur de NRP. La valeur de NRP est obtenue à partir des résultats du calcul des 3 paramètres de Gravité (G), fréquence de la cause de la défaillance (F) et du Détection (D) conformément à l'Équation 1 et au Tableau 2.

$$\text{RNP} = G * F * D \quad (1)$$

i. Gravité (G) : La gravité et la criticité de l'impact du danger. Le score est obtenu à partir de l'évaluation de l'impact du danger causé par l'effet de la défaillance.

ii. Fréquence de la cause de la défaillance (F) : Le nombre estimé de défaillances potentielles dans un système. L'évaluation est obtenue à partir de l'évaluation probabiliste des effets qui se produisent en conséquence du mode de défaillance.

iii. Détection (D) : Les défauts possibles peuvent être identifiés grâce aux procédures de travail. L'évaluation est basée sur la capacité à reconnaître le mode de dommage qui se produit.

| Équipement | Gravité (G) | Détection (N) | Fréquence (F) | RPN |
|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| EF_i | X _{1i} | X ₁₂ | X ₁₃ | RPN _i |
| EF₂ | X ₂₁ | X ₂₂ | X ₂₃ | RPN ₂ |
| EF₃ | X ₃₁ | X ₃₂ | X ₃₃ | RPN ₃ |
| . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . |
| EF₇ | X ₇₁ | X ₇₂ | X ₇₃ | RPN ₆ |

Tableau 3 : Structure générale de la matrice RPN

Le RPN obtenu est évalué à l'aide du Tableau 3, en se basant sur l'Équation 1. Le traitement des données RPN utilise des diagrammes de Pareto. Le diagramme de Pareto est un histogramme qui permet d'analyser les zones/composants critiques. La détermination des composants critiques est identifiée à partir de **20%** des types de défaillance qui représentent **80%** de l'ensemble du système. On peut dire que le diagramme de Pareto est utilisé pour déterminer le point critique. Le traitement des données suivant la découverte de la cause de la défaillance d'un composant consiste à déterminer la stratégie de maintenance pour chaque composant. La stratégie de maintenance des composants est basée sur la valeur RPN obtenue. Les valeurs RPN obtenues sont classées dans le Tableau 3.

| Rang | Entretien stratégique | critère |
|----------|------------------------|-----------------|
| 1 | Maintenance prédictive | RPN > 300 |
| 2 | Maintenance préventive | 200 < RPN < 300 |
| 3 | Maintenance corrective | 0 RPN < 200 |

Tableau 4 : Critères stratégiques de maintenance

3- Méthode de l'analyse des causes racines et des défaillances (RCFA)

La méthode de l'analyse des causes racines et des défaillances (RCFA) est une méthode couramment utilisée pour identifier les causes principales possibles des défaillances dans les systèmes ou les composants de machines. La cause de la défaillance ne dépend pas d'une seule cause, mais de plusieurs facteurs qui provoquent la défaillance.

L'objectif de la RCFA est d'identifier et de comprendre les causes fondamentales qui ont conduit à la défaillance ou au problème observé, afin de mettre en place des mesures correctives appropriées pour éviter qu'ils ne se reproduisent à l'avenir. La RCFA va au-delà de l'identification des symptômes ou des effets immédiats de la défaillance, et cherche à trouver les causes sous-jacentes qui ont contribué au problème.

La méthodologie de la RCFA comprend généralement les étapes suivantes :

- i. Collecte de données et description du problème : recueillir toutes les informations pertinentes sur la défaillance ou le problème observé.
- ii. Analyse des faits et des données : examiner en détail les faits et les données disponibles pour mieux comprendre la nature du problème.
- iii. Identification des causes immédiates : déterminer les causes directes qui ont conduit à la défaillance ou au problème.
- iv. Identification des causes profondes : chercher les causes plus profondes ou sous-jacentes qui ont contribué aux causes immédiates.
- v. Développement de mesures correctives : proposer des mesures correctives spécifiques pour éliminer ou atténuer les causes profondes identifiées.
- vi. Mise en œuvre des mesures correctives : mettre en place les actions nécessaires pour résoudre les problèmes identifiés.
- vii. Suivi et évaluation : surveiller les résultats des mesures correctives et évaluer leur efficacité.

Cette étude utilise un diagramme d'Ishikawa pour l'analyse. Un diagramme d'Ishikawa est une manière détaillée de lister toutes les causes possibles de défaillance et leurs causes. C'est pourquoi les diagrammes d'Ishikawa sont également appelés diagrammes de causes et effets. Cela aide les concepteurs et les planificateurs de processus à prêter attention aux défaillances futures.

Les diagrammes d'Ishikawa utilisent plusieurs facteurs, à savoir l'homme, le matériau, la méthode et la machine pour considérer la défaillance. Chaque facteur sera lié à d'autres facteurs. Chacune des causes répertoriées est identifiée pour déterminer la cause principale de la défaillance en se basant sur les résultats des observations sur le terrain.

6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons examiné deux méthodes d'analyse fondamentales appliquées au système d'injection. Tout d'abord, nous avons étudié les techniques de collecte de données utilisées pour recueillir des informations précieuses sur le fonctionnement du système.

Ensuite, nous avons exploré en détail la méthode d'analyse AMDEC, qui nous permet d'identifier les modes de défaillance potentiels et de prioriser les actions correctives. Enfin, nous avons abordé la méthode d'analyse des causes racines et des défaillances, qui nous aide à déterminer les facteurs sous-jacents responsables des problèmes observés. Ces méthodes nous fournissent des outils essentiels pour améliorer la performance et la fiabilité du système d'injection.

Chapitre4 : Analyse des systèmes d'injection à l'aide de la méthode AMDEC et RCFA

I- Introduction

Ce chapitre se focalise sur une exploration approfondie du système de carburant du moteur, en utilisant des études de cas, des diagrammes en bloc et des analyses méthodiques. Notre objectif principal est d'identifier les modes de défaillance potentiels, d'évaluer leurs effets et leur criticité à l'aide de l'Analyse AMDEC, et d'analyser les causes profondes des défaillances grâce à l'Analyse RCFA. En se basant sur ces résultats, nous formulons des recommandations pour améliorer la fiabilité et la performance du système de carburant.

Pour commencer, nous examinerons les études de cas spécifiques qui mettent en évidence les problèmes rencontrés dans les composants principaux du système de carburant. Ces études nous permettent de mieux comprendre les défis réels auxquels le système est confronté et d'explorer les solutions possibles.

Ensuite, nous utiliserons des diagrammes en bloc pour représenter visuellement les composants clés du système de carburant et leurs interactions. Ces diagrammes nous aident à appréhender la complexité du système dans son ensemble et à identifier les points critiques où les défaillances peuvent survenir.

Nous aborderons ensuite l'Analyse AMDEC, une méthode systématique qui nous aide à évaluer les risques associés aux modes de défaillance, à déterminer leur criticité et à prioriser les actions de prévention. Grâce à cette analyse, nous pourrions mettre en place des mesures préventives et correctives ciblées pour garantir le bon fonctionnement du système de carburant.

Par la suite, nous nous pencherons sur l'Analyse RCFA, qui nous permet d'identifier les causes profondes des défaillances du système de carburant. En comprenant ces causes fondamentales, nous serons en mesure de formuler des recommandations spécifiques pour éliminer ou atténuer les facteurs de risque et prévenir ainsi les défaillances récurrentes.

Enfin, ce chapitre se conclura par des recommandations pratiques basées sur les résultats des études de cas et des analyses effectuées. Ces recommandations visent à optimiser la fiabilité, l'efficacité et la sécurité du système de carburant du moteur, en mettant l'accent sur des actions concrètes telles que la maintenance préventive, la surveillance continue et l'amélioration des procédures opérationnelles.

II- Résultats et discussion

1- Études de cas et diagrammes en bloc des composants principaux du système de carburant du moteur

Cet article présente une étude de cas axée sur l'analyse des causes fondamentales des défaillances du moteur diesel des autobus de transport routier, en mettant l'accent sur le système de carburant. L'autobus utilisé dans cette étude est un modèle Mercedes qui assure des trajets réguliers entre les dépôts et les destinations prévues. La défaillance du moteur s'est produite pendant qu'un autobus se dirigeait vers le dépôt, rencontrant un problème avec son système de propulsion pendant son fonctionnement.

L'équipe d'entretien a effectué une vérification du moteur qui a révélé des symptômes indiquant des pièces de combustion anormales. En général, une performance de combustion incomplète due à l'influence du carburant ou de son environnement sur la chambre de combustion du moteur est appelée combustion détonante. L'équipe d'entretien a remarqué un comportement anormal du moteur dans la section du système de carburant de l'autobus, ce qui a été confirmé par une petite vérification de l'emplacement de la défaillance. Les résultats de cette vérification ont suggéré une défaillance du système de carburant du moteur. Après être arrivé au dépôt, le moteur a été évalué et confirmé comme ayant subi une défaillance du système de carburant.

D'après l'historique des réparations, il est évident que le moteur principal des autobus de transport routier est sujet à des défaillances fréquentes, en particulier dans la section d'alimentation en carburant. Pour maintenir le fonctionnement des autobus, les sociétés de transport routier proposent souvent des services de réparation et des pièces de rechange pour le moteur principal en raison de la récurrence des défaillances du système de carburant. Bien que d'autres systèmes requièrent également une attention, le système de carburant est la priorité absolue pour résoudre les problèmes du moteur principal. Toutefois, il est impératif d'améliorer la maintenance du moteur principal à bord des autobus afin de prolonger la durée de vie des anciens moteurs.

Il est donc essentiel d'identifier les causes et les effets des défaillances et de recommander des améliorations afin d'éviter qu'elles ne se reproduisent lorsque des composants sont endommagés. Des études antérieures ont également souligné l'importance d'accorder une

attention particulière au système de carburant des moteurs diesel en raison de la fréquence des défaillances.

L'une des parties les plus importantes de l'application de la méthode AMDEC est la subdivision du système en ses propres composants. Le principal avantage de diviser le système en composants individuels est de faciliter l'identification des modes de défaillance, des causes et des effets sur le système. Le moteur principal de l'autobus se compose de divers systèmes de support.

L'un des plus importants est le système de carburant. Sur la base des observations PI&D (Un schéma tuyauterie et instrumentation) (Piping & Instrumentation diagram), des entretiens et des études de littérature, les composants du système de carburant sont le réservoir de carburant, la pompe à carburant, le filtre, la pompe d'injection et l'injecteur.

Ce diagramme en bloc est une référence pour analyser les défaillances qui se produisent dans le système de carburant du moteur principal de l'autobus. Le diagramme en bloc du système de carburant du moteur principal est présenté à la Figure 6. Le diagramme de flux du processus peut être expliqué en fonction de son utilisation dans le Tableau 5. Ainsi, le diagramme en bloc de l'équipement du système de carburant du moteur principal montre les parties interagissant pour vérifier la distribution du carburant.

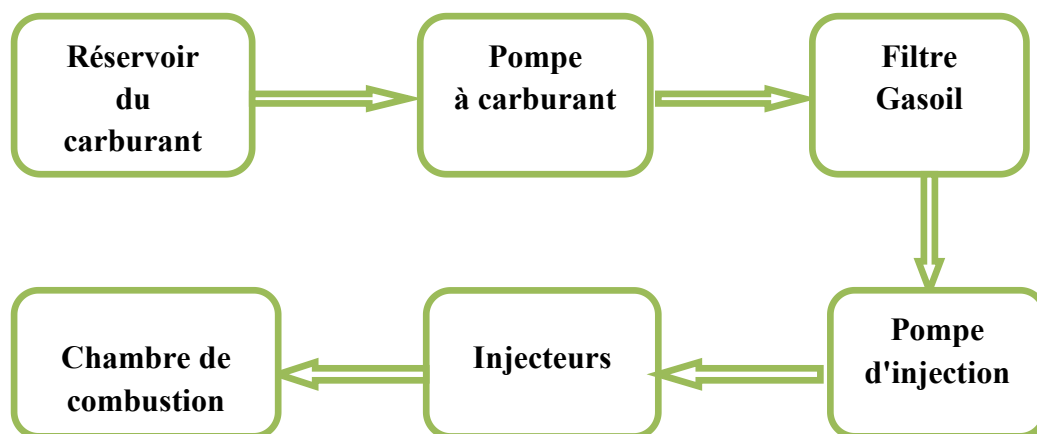


Figure 6 : Schéma fonctionnel du système de carburant d'un moteur diesel

Après avoir subdivisé les composants du système de carburant du moteur principal en plusieurs équipements, il est important d'identifier le mode de défaillance et l'impact de chaque

défaillance d'équipement. En général, les défaillances des équipements du système de carburant peuvent survenir de divers aspects, tout comme les mécanismes de défaillance.

Les résultats des entretiens avec des experts, ainsi que les études de littérature, peuvent servir de base pour identifier les modes de défaillance, leurs mécanismes et leurs impacts, ainsi que pour déterminer la façon de les identifier. Certains de ces modes de défaillance sont répertoriés dans la feuille d'AMDEC, présentée dans le Tableau 5.

Les résultats du Tableau 5 sont pris en compte à partir des résultats du RPN (Risk Priority Number).

| Équipement | Fonction | Mode de défaillance Potentiel | cause pour un éventuel mode de défaillance | Effet d'un éventuel mode de défaillance | Détection d'un éventuel mode de défaillance |
|-------------------------------|--|---|--|---|--|
| Réservoir du carburant | Zone de stockage du carburant avant sa fourniture au moteur | Fuites sur les parois (Fi) | Corrosion sur les parois | Grosse explosion et pollution | Observation visuelle ou test non destructif |
| Pompe à carburant | Transfert du carburant vers le moteur | Obstruction des conduits d'admission et/ou d'échappement (F2) | Dépôt de particules de saleté | Le fonctionnement de la machine n'est pas optimal | Vérification et révision du manomètre de pression |
| Filtre Gasoil | Filtrer le carburant avant sa fourniture au moteur | Élément du filtre à carburant sale et obstrué (F3) | Accumulation de dépôts sales | Diminution des performances du moteur jusqu'à son arrêt complet | Révision de la machine |
| Pompe d'injection | Augmenter la pression du carburant vers l'injecteur | Variations de pression du flux de carburant (F4) | Fatigue des composants | Le moteur ne fonctionne pas de manière optimale jusqu'à son arrêt | Révision et vérification avec un manomètre de pression |
| Injecteurs | Pulvériser le carburant avec la méthode d'atomisation sur le carburant du moteur principal | Brouillard d'atomisation obstrué (F5) | Obstruction par de petites particules | La combustion n'est pas parfaite, ce qui entraîne un fonctionnement non optimal du moteur | Révision et vérification avec un testeur d'injecteur |

Tableau 5 : Mode de défaillance et analyse des effets du système de carburant

2. Analyse AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité)

L'analyse du système de carburant du moteur principal est réalisée afin d'identifier les défaillances. Les détails des défaillances passées du système de carburant sont obtenus et analysés en fonction de l'historique des composants du système de carburant. En fonction du type de défaillance par composant, les défaillances du système sont classées en 5 parties, à savoir la défaillance du réservoir de carburant (F1), la défaillance de la pompe à carburant (F2), la défaillance du filtre (F3), la défaillance de la pompe d'injection (F4) et la défaillance de l'injecteur (F5).

Toutes les fonctions et types de défaillance des composants du système de carburant sont étudiés dans le Tableau 5. La défaillance de chaque composant est observée afin de prédire la probabilité de défaillance en identifiant l'historique des défaillances. En fonction de la fonction et de la défaillance de chaque composant, une description des mécanismes, des causes et des méthodes d'identification est obtenue pour servir de base d'évaluation.

Le type de défaillance obtenu est évalué avec les paramètres **G**, **F** et **D** en se basant sur le contenu du Tableau 4. La valeur du RPN (Risk Priority Number) est obtenue à partir des calculs mathématiques de **G**, **F** et **D**, comme indiqué dans le Tableau 6, en tenant compte de la valeur de gravité.

La valeur du RPN est validée avec des données sur le terrain afin de confirmer sa validité. Sur la base du RPN obtenu, la valeur la plus élevée est attribuée au composant de l'injecteur (168). La valeur du RPN de 168 est obtenue à partir du paramètre **G** avec une valeur de 7, du paramètre **F** avec une valeur de 4 et du paramètre **D** avec une valeur de 6. La valeur du paramètre **G** indique que la défaillance de l'injecteur peut entraîner l'arrêt du moteur en raison de l'encrassement important de l'injecteur et de l'obstruction du carburant dans la chambre de combustion du moteur. La valeur du paramètre **F** indique que l'entretien de l'injecteur est peu fréquent, ce qui réduit la probabilité de défaillance du système de carburant du moteur principal. La valeur du paramètre **D** indique que l'identification des défaillances de l'injecteur est faible car il est situé à l'intérieur du moteur, et donc la détection de ce composant est réalisée en analysant son impact, comme les vibrations qu'il peut causer [10].

| N° | Composante | Gravité (G) | Fréquence (F) | Détection (D) | RPN |
|----|------------------------|-------------|---------------|---------------|-----|
| 1 | Réservoir du carburant | 8 | 2 | 4 | 64 |
| 2 | Pompe à carburant | 5 | 3 | 5 | 75 |
| 3 | Filtre Gasoil | 7 | 3 | 5 | 105 |
| 4 | Pompe d'injection | 6 | 2 | 6 | 72 |
| 5 | Injecteurs | 7 | 4 | 6 | 168 |

Tableau 6. Résultat du calcul RPN indexé

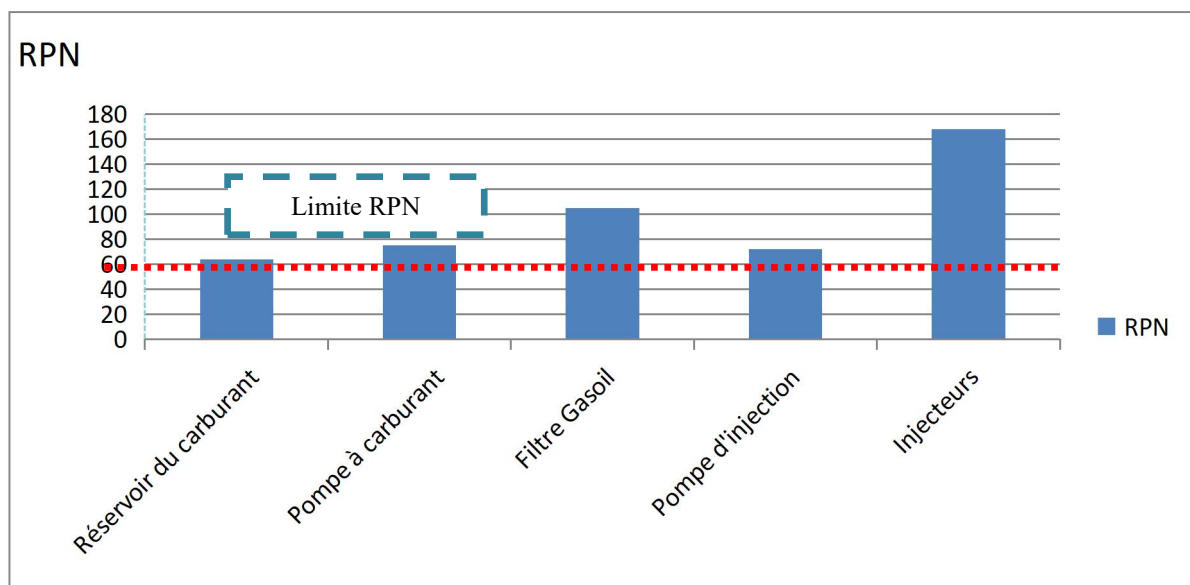


Figure 7 : Diagramme de priorité des défaillances des composants à partir du RPN

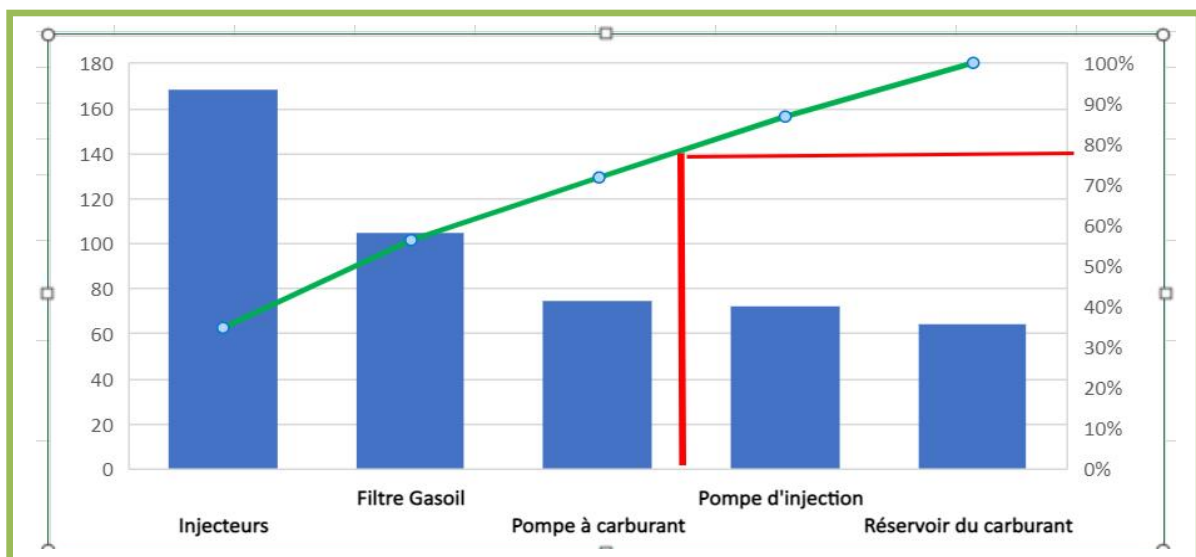


Figure 8 : Diagramme de Pareto du RPN des composants du système de carburant

Le calcul de la valeur RPN est utilisé pour analyser les composants critiques qui causent la défaillance du système de carburant. L'une des méthodes consiste à examiner les résultats de la sélection des composants qui dépassent la limite critique du RPN pour l'ensemble des composants. Le RPN critique (96,8) est obtenu à partir de la moyenne de toutes les valeurs RPN des composants du système de carburant du moteur principal. La Figure 7 montre les composants du système de carburant du moteur principal avec la limite de valeur RPN. Selon la Figure 7, les composants du filtre et de l'injecteur dépassent la limite de valeur RPN. Cela est renforcé par la Figure 8, qui montre les résultats de l'analyse du diagramme de Pareto de la valeur RPN du système de carburant.

D'après le diagramme de Pareto, le composant d'injecteur est le plus dominant en termes de défaillance. Cependant, il est également possible que la défaillance soit due au filtre ou à la pompe à carburant. Conformément au principe de Pareto, qui établit que **80%** des problèmes de défaillance sont causés par **20%** des causes de défaillance, les composants responsables de la défaillance du système de carburant sont l'injecteur, qui dépasse la limite de RPN avec la plus haute valeur de RPN et la plus grande contribution à la défaillance selon le diagramme de Pareto, basé sur les résultats des enquêtes sur le terrain et de plusieurs analyses.

3. Analyse RCFA

Les causes potentielles de défaillance dans le système de carburant du moteur principal ont été identifiées. Le composant principal de la défaillance du système de carburant du moteur principal est l'injecteur. Les résultats de l'analyse de l'injecteur indiquent un type de défaillance qui se produit sous la forme d'une obstruction au niveau de la buse.

La figure 9 montre une image d'un point de buse obstrué. La défaillance du composant de l'injecteur doit être examinée à nouveau pour en déterminer les causes. Le potentiel de défaillance de l'injecteur est identifié et classé en causes et effets liés à la défaillance : matériel, machine, humain et méthode.

La figure 10 montre le diagramme d'Ishikawa (diagramme en arêtes de poisson) de la défaillance de l'injecteur. Chaque catégorie comprend plusieurs causes liées à une catégorie particulière, qui sont ensuite subdivisées en sous-niveaux pour trouver plus en profondeur la cause fondamentale. En se basant sur le brainstorming et l'analyse avec les diagrammes d'Ishikawa, il y a 10 causes fondamentales. En se basant sur la racine du problème, le manque

d'entretien régulier qui entraîne une vérification non optimale lorsque la machine est en marche est la cause fondamentale du problème.

Après avoir identifié le problème, il est évalué en collaboration avec des experts et en tenant compte des conditions sur le terrain. La cause du problème est souvent le manque de vérifications périodiques, ce qui entraîne des injecteurs endommagés. Certains des échecs des injecteurs sont dus à des réglages inappropriés des injecteurs. L'obstruction de la buse sur l'injecteur peut entraîner une pulvérisation incomplète de carburant dans la chambre de combustion. Cela entraîne une défaillance de la machine.



Figure 9: buse d'injection

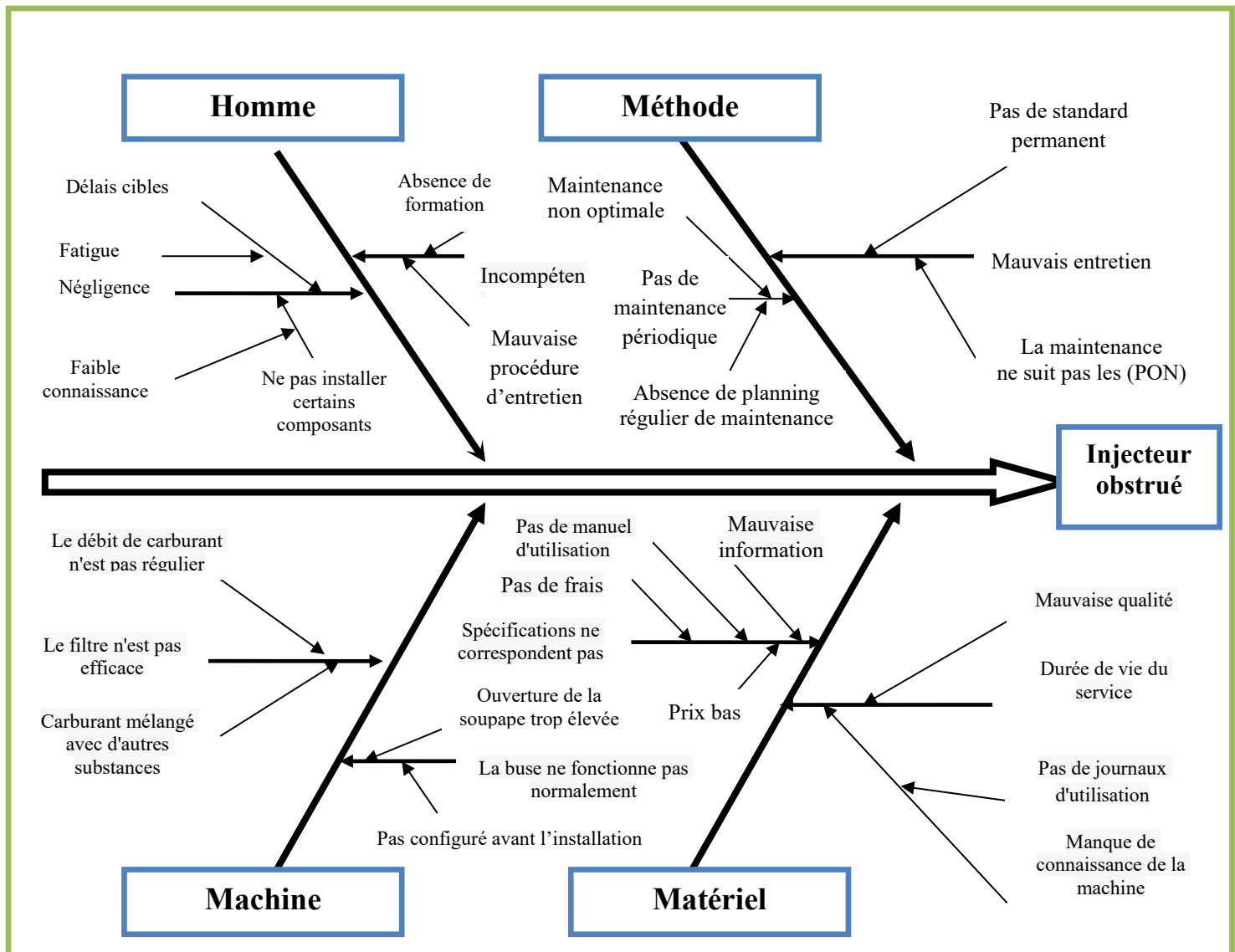


Figure 10: Analyse de défaillance du cas racine à l'aide du diagramme d'Ishikawa

4. Recommandations

Les causes de la défaillance du système de carburant du moteur principal, qui ont entraîné l'arrêt du moteur principal, sont les défaillances des injecteurs. Cependant, la défaillance de l'injecteur empêche la combustion de se produire dans la chambre de combustion. Les résultats de l'analyse indiquent que la cause de la défaillance de l'injecteur est l'obstruction de la buse.

La cause fondamentale de la défaillance de l'injecteur est le manque de vérifications des composants avant l'opération. Le traitement procédural est une action traditionnelle mais

efficace. La stratégie de sélection du traitement est déterminée par la valeur RPN. La classification des stratégies de traitement basées sur les valeurs RPN est présentée dans la Figure 11.

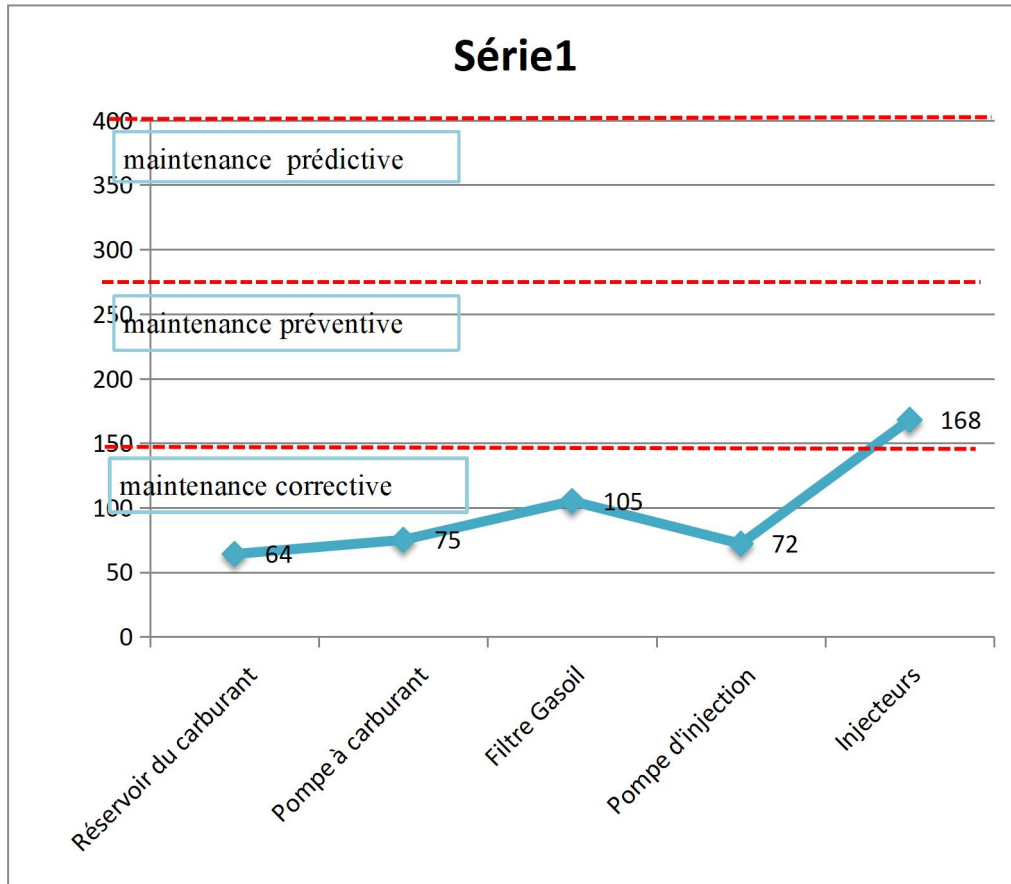


Figure 11 : Maintenance stratégique en cas de panne d'injecteur

Il est recommandé d'utiliser une maintenance corrective pour le composant de l'injecteur (168). Une autre suggestion est d'effectuer des vérifications périodiques avant de mettre la machine en marche, car cela permet d'éviter les défaillances. L'utilisation d'un filtre à carburant propre réduit également les causes de défaillance.

7. Conclusion

L'analyse de défaillance du système de carburant du moteur principal a révélé que les défaillances des injecteurs étaient à l'origine de l'arrêt du moteur. L'obstruction de la buse a été identifiée comme la cause fondamentale de ces défaillances. Pour prévenir de telles pannes à l'avenir, il est recommandé d'adopter une approche de maintenance corrective pour les injecteurs, ainsi que de réaliser des vérifications périodiques avant le démarrage de la machine.

L'utilisation d'un filtre à carburant propre peut également contribuer à réduire les risques de défaillance. Ces mesures permettront d'améliorer la fiabilité et les performances du système de carburant.

Conclusion

Cette étude a été conçue pour analyser les causes et les effets des défaillances des composants du système de carburant du moteur principal. Les résultats RPN des différents composants, à savoir le réservoir de carburant, la pompe à carburant, le filtre, la pompe d'injection et l'injecteur, étaient respectivement de 64, 75, 105, 72 et 168.

Les investigations menées lors de l'analyse AMDEC ont révélé que le composant de l'injecteur était la cause de la défaillance, avec une valeur RPN élevée de 168, et représentait la principale cause de défaillance selon le diagramme de Pareto.

La défaillance qui se produit est un injecteur obstrué. Les résultats de l'analyse RCFA montrent que la cause fondamentale de la défaillance de l'injecteur est une vérification insuffisante.

Par conséquent, une stratégie de maintenance corrective est une mesure appropriée pour atténuer ce problème, car la valeur RPN est inférieure à 200. De plus, le nettoyage régulier des composants du filtre peut également minimiser les défaillances.

L'impact de cette recherche réside dans les découvertes scientifiques qui peuvent avoir une influence sur l'analyse des défaillances en utilisant les méthodes AMDEC et RCFA.

Références bibliographiques

- [1] Gao Zongying, Zhu Jianming Approvisionnement en carburant diesel et réglementation [M]. Pékin : China Machine Press, 2009.
- [2] A. Windyandari, Klasifikasi Kegagalan pada Sistem Injeksi Bahan Bakar Marine Diesel dengan Menggunakan NeuralNetwork, KAPAL, vol. 7, no. 3, pp. 1 5, 2010.
- [3] M. B. Anthony, Analisis Penyebab Kerusakan Hot Rooler Table Dengan Menggunakan Metode Failure Mode AndEffect Analysis (FMEA), Jurnal INTECH Teknik Industri Universitas Serang Raya, vol. 4, pp. 1 8, 2016, <https://doi.org/10.30656/intech.v4i1.851>
- [4] V. R. Deulgaonkar, N. Ingolikar, A. Borkar, S. Ghute, and N. Awate, Failure analysis of diesel engine piston intransport utility vehicles, Engineering Failure Analysis, vol. 120, 105008, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.105008>
- [5] H. Li, H. Diaz, and C. Guedes Soares, A failure analysis of floating offshore wind turbines using AHP-FMEAmethodology, Ocean Engineering, vol. 234, 109261, 2021, <https://doi.Org/10.1016/j.oceaneng.2021.109261>.
- [6] L. Masriera, M. Fernandez, J. Marani, G. Antonel, C. Acosta, and J. Halabi, Scientific Method Applied to Failure Analysis on Engineering Components, Procedia Materials Science, vol. 8, pp. 117 127, 2015, <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2015.04.055>.
- [7] R. M. Arias Velasquez and J. V. Mejia Lara, Root cause analysis for shunt reactor failure in 500 kV power system, Engineering Failure Analysis, vol. 104, pp. 1157 1173, Oct. 2019, <https://doi.Org/10.1016/j.engfailanal.2019.06.076>
- [8] S. Dondapati, M. Trivedi, R. S. Dondapati, and D. Chandra, Investigation on the mechanical stresses in a muffler mounting bracket using Root Cause Failure Analysis (RCFA), finite element analysis andexperimental validation, Engineering Failure Analysis, vol. 81, pp. 145 154, Nov. 2017, <https://doi.Org/10.1016/j.engfailanal.2017.08.010>
- [9] M. Qadafi and M. Saputra, Analisa Penyebab Kerusakan Dan Perbaikan Pada Belt Conveyor Di PT. Mifa Bersaudara, Jurnal Mahasiswa UTU, vol. 1, no. 1, pp. 19 27, 2022.
- [10] A. Taghizadeh-Alisaraei and A. Mahdavian, Fault detection of injectors in diesel engines using vibration time-frequency analysis, Applied Acoustics, vol. 143, pp. 48 58, Jan. 2019, <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2018.09.002>.