

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



Titre

**APPLICATION L'AMDEC SUR MOTEUR CAT(3508) DE LA
CHARGEUSE CATERPILLAR 992G**

Présenté et soutenu par :

Khadhraoui Amen Allah

En vue de l'obtention de

Master Professionnel en Management de la maintenance industrielle

Sous la Direction de :

M. MIRAoui IMED Encadreur (ISSAT Gafsa)

Soutenu le 00/00/2023

Devant le jury composé de :

Président	:	M.
Rapporteur	:	M.
Encadreur	:	M. MIRAoui IMED
Co-Encadreur	:	M. MRAYDI BILEL

2022/2023

Dédicaces

Tout d'abord je veux dire DIEU merci car il m'a donné à la fois les capacités intellectuelles et physiques pour réaliser mon travail.

*A ma très chère mère **Rachida***

Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

*A mon très cher père **Taher***

Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager. Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.

*A mon très chers frère **Fahmi***

Vous avez toujours été le soutien constant dans tous les obstacles et difficultés que j'ai rencontrés. Frère je te suis toujours reconnaissant

*Très chers et belles sœurs **Ghada** et **Sahar***

Ce sont mes yeux, je prie toujours Dieu de te protéger, guérir et tu revenir en bonne santé

A mes très chers amis

*Et je n'oublie pas les amis qui m'ont toujours soutenu pour surmonter les difficultés
Enfin, je dédie ce travail aux personnes qui m'ont fait confiance.*

Amen Allah 

Remerciements

Nous remercions ALLAH, le tout puissant qui nous a donné la force et la volonté pour réaliser ce travail.

A toutes les personnes qui nous ont apporté leur soutien et leur aide tout au long de ce travail et plus particulièrement :

La direction Général de la Compagnie des Phosphates de Gafsa (CPG) et la Direction de la Maintenance et du Matériel (DMM) d'avoir permis la réalisation de ce travail au sein de ses établissement.

Nous tenons à remercier notre encadreur « M. Imed Miraoui », enseignant chercheur et Directeur du département de Maintenance des engins Lourds à l'ISSAT Gafsa, et remercie Nos remerciements se portent aussi vers « M. Bilel Mraydi » qui a dirigé le déroulement de notre stage dans des conditions favorables.

Nous tenons fortement à exprimer nos remerciements aux membres de jury :

Monsieur le président, qui nous a fait l'honneur d'avoir accepté de présider le jury de notre PFE.

Monsieur le rapporteur, d'avoir bien voulu accepter d'examiner ce travail.

Enfin, nous tenons à remercier vivement nos enseignants à ISSAT Gafsa, qui ont contribué pour notre bonne formation durant ces années d'étude et toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce stage.

Merci à tous

Sommaire

Introduction générale.....	2
Chapitre 1 : Présentation de l'entreprise et la chargeuse Caterpillar 992G	3
Introduction :	4
1. Présentation de société d'accueil :	4
2. La chargeuse CATREPILLAR 992G.....	5
3. Pose du problème et solution proposée	11
Conclusion.....	12
Chapitre 2 : Identification de Moteur CAT 3508 et Collection du donnée	13
Introduction	14
1. Les pièces de base du moteur CAT (3508) :	14
2. Planification de la maintenance :	23
3. Collection du donnée des pannes de la chargeuse 992G.....	28
Conclusion :	31
Chapitre 3 : Les outils d'analyse	32
Introduction :	33
1. Loi de 80/20 :	33
2. L'intérêt du diagramme de Pareto :	33
3. Diagramme d'Ishikawa 5M (diagramme cause /effet):.....	34
4. L'historique de L'AMDEC :	38
Conclusion :	47
Chapitre 4 : Application de l'AMDEC	48
Introduction	49
1. Application de Pareto sur notre projet :	49
2. Application d'Ishikawa sur notre projet :	51
3. AMDEC :	56
4. Plan d'action :	59

Conclusion.....	60
Conclusion générale	61
Réfirance Bibliographie	62

Liste des figures

Figure 1. La compagnie de phosphate de Gafsa.....	4
Figure 2. Chargeuse CATERPILLAR 992G [2]	5
Figure 3. Système de transmission [1]	6
Figure 4. Convertisseur de couple [1]	8
Figure 5. Boite de vitesses de la chargeuse [1]	9
Figure 6. Schéma du moteur [1].....	10
Figure 7. Bloc Moteur V8	14
Figure 8. Chemise de cylindre.....	15
Figure 9. Culasse	16
Figure 10. joint de culasse.....	16
Figure 11. carter	17
Figure 12. Turbocompresseur	18
Figure 13. Injecteur	18
Figure 14. Piston et bielle.....	19
Figure 15. vilebrequin	20
Figure 16. Arbre à cames	21
Figure 17. Soupape.....	22
Figure 18. Culbuteur	23
Figure 19. Dégradation du bien et durée de vie	25
Figure 20. Les méthodes de la maintenance	26
Figure 21. La loi des 80/20.....	33
Figure 22. Le Diagramme de Pareto (application).....	34
Figure 23. Diagramme d'Ishikawa.....	37
Figure 24. Le diagramme Pareto	50
Figure 25. Diagramme d'Ishikawa sur l'injecteur.....	51
Figure 26. Diagramme d'Ishikawa sur fuite d'huile	52
Figure 27. Diagramme d'Ishikawa sur ECM du moteur	53
Figure 28. Diagramme d'Ishikawa sur fuite d'échappement	54

Liste des tableaux

Tableau 1. Embrayages hydrauliques.....	7
Tableau 2. Régime moteur	11
Tableau 3. Historique des pannes pour la chargeuse 992 G 2019.....	29
Tableau 4. Historique des pannes pour la chargeuse 992 G 2020.....	30
Tableau 5. Evolution de l'AMDEC	38
Tableau 6. Exemple de feuille d'AMDEC-moyen de production.....	41
Tableau 7. Grille de cotation de la gravité.	43
Tableau 8. Grille de cotation de la Fréquence.....	44
Tableau 9. Grille de cotation de la probabilité de non-détection	45
Tableau 10. La durée des pannes du chargeuse 992 G.....	49
Tableau 11. AMDEC.....	56
Tableau 12. Les risques des pannes	58

Introduction

Introduction générale

Ce travail se situe dans le cadre de développement d'un projet de Mémoire, il est réalisé suite à une coopération entre l'ISSAT et la société CPG.

Et comme dans chaque industrie développée, le service maintenance à un poids très remarquable, elle contribue de plus en plus à l'amélioration des conditions de travail et assure la fiabilité, la sûreté et la disponibilité des machines.

Profitant de cette occasion, nous allons nous concentrer sur la chargeuse CATERPILLAR 992G et en particulier la partie du moteur (3508) qui est devenue de plus en plus automatisée, ceci est dû essentiellement à :

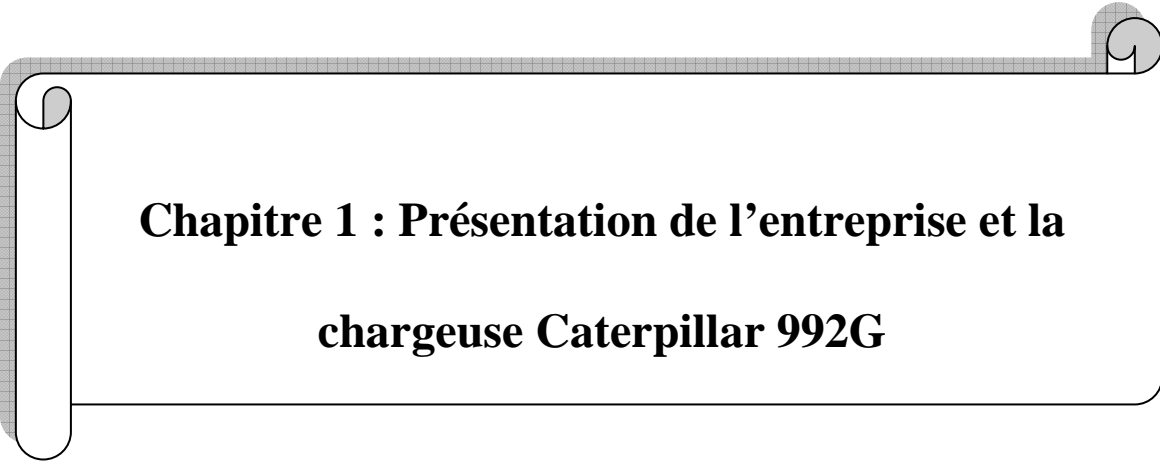
- L'évolution permanente dans le domaine de Management de la maintenance industrielle

Dans le but de satisfaire les exigences, prévenir les risques et résoudre les problèmes ; on est appelé donc à étudier, et à concevoir L'application AMDEC sur moteur CAT(3508) de la chargeuse CATERPILLAR 992G destiné à la maintenance préventive sur la moteur.

Le présent manuscrit est divisé en quatre parties principales :

- Le premier chapitre est consacré à une présentation de la société d'accueil CPG et on a présentant les différentes éléments de la chargeuse Caterpillar 992G.
- Le deuxième chapitre est focalisé sur l'identification de la moteur CAT (3508) avec une collection des donnée des pannes sur la chargeuse Caterpillar 992G et on a présenté la maintenance.
- Le troisième chapitre est dévoué sur présentation du diagramme de Pareto, diagramme d'Ishikawa 5M (cause et effet) et une étude détaille sur l'analyse de mode des défaillances de leurs effets et leurs criticité (AMDEC).
- Le dernier chapitre est réservé pour l'application de diagramme de Pareto, les schémas d'Ishikawa de chaque panne. Ce chapitre se termine par un tableau AMDEC sur le moteur CAT (3508) avec le plan d'action.

Nous clôturons ce rapport par une conclusion et une perspective.

A decorative frame resembling a scroll, with a grey grid pattern on the top and left borders. The frame contains the chapter title in bold black text.

Chapitre 1 : Présentation de l'entreprise et la chargeuse Caterpillar 992G

Introduction :

Le domaine de l'industrie rassemble de nombreux acteurs impliqués dans une gamme étendue d'activités telles que la construction, les équipements, la réparation, la maintenance, et les technologies. La transformation et le transport de divers types de marchandises exigent des savoir-faire reconnus dans les équipements à haute technologie. Cette filière doit être capable dans un environnement concurrentiel de rester compétitive pour répondre à la demande de tous les besoins en améliorant la fiabilité des équipements et matériels et en proposant des solutions mieux efficaces innovantes, et adaptables avec les conditions de travail pour la modernisation et l'amélioration de performance des engins tel que l'application de L'AMDEC sur moteur CAT(3508) de la chargeuse Caterpillar 992G qui est l'objectif de notre projet.

1. Présentation de société d'accueil :

1.1.La compagne des phosphates de Gafsa (CPG)

La CPG est une entreprise tunisienne d'exploitation de phosphates basée à Gafsa. Elle est rattachée en 1994 au Groupe Chimique Tunisien. Elle figure parmi les plus importants producteurs de phosphates, occupant le cinquième rang à l'échelle mondiale avec une production de presque huit millions de tonnes (en 2009).



Figure 1. La compagnie de phosphate de Gafsa

❖ Historique

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

D'autres prospections géologiques et des explorations de grande envergure ont suivi cette

découverte décisive. Celles-ci ont révélé l'existence d'importants gisements de phosphates au sud et au nord de l'île de Kasserine.

1.2. Présentation de la direction de la maintenance et du matériel (DMM)

Vu les conditions de travail dans les carrières, la CPG perd progressivement la capacité de ses engins (chargeuses, bulldozer, dumper...) donc il est nécessaire de créer une direction qui assure la maintenance de ces engins et qui organise la réception et la distribution des matériaux vers les différents sièges, c'est la direction de la maintenance et du matériel dite la DMM.

Les tâches principales exécutées dans la DMM sont :

- Révision générale des engins, sous-ensembles et équipements.
- Prestation de maintenance des fixes.

2. La chargeuse CATREPILLAR 992G

Comme décrit dans la norme "ISO 6165: 2001", cette machine est classée comme chargeuse sur pneus. Elle vient avec un godet monté à l'avant. Les outils de travail sont utilisés pour le creusement, le chargement, le levage et le transport de matériau comme la terre, la roche broyée ou le gravier.

Ce projet traite en particulier les chargeuses CATERPILLAR 992G.



Figure 2. Chargeuse CATERPILLAR 992G

2.1. Chaîne cinématique

La chaîne cinématique ci-dessous représente les différentes composantes de la chargeuse 992G, en mettant l'accent sur le système de transmission du mouvement qui est effectué de moteur jusqu'aux roues.

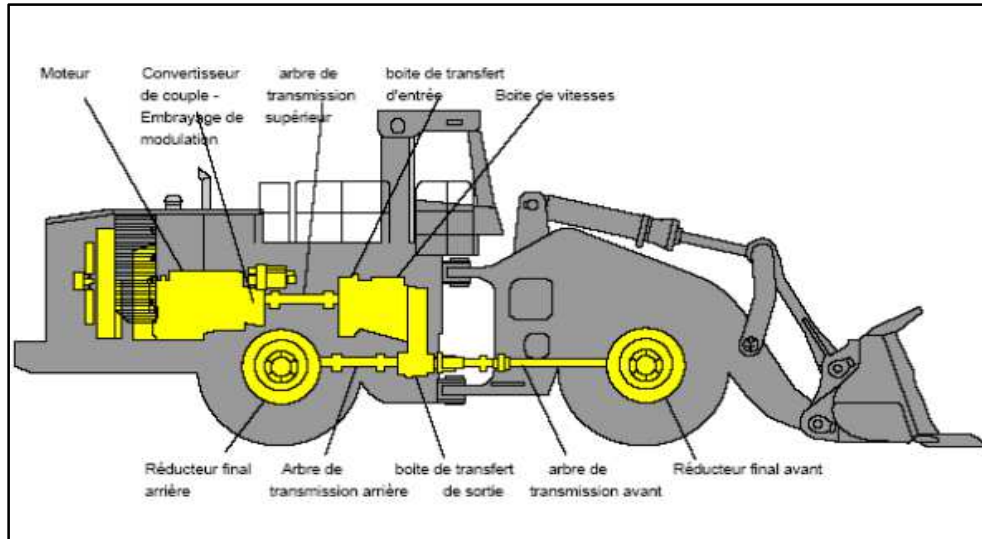


Figure 3. Système de transmission [1]

La puissance est transmise du moteur au convertisseur de couple à travers le volant moteur. L'arbre de sortie du convertisseur (cardan) entraîne la boîte de transfert d'entrée qui à son tour entraîne la boîte de vitesse. La boîte de transfert de sortie, boulonnée à la boîte de vitesse transmet la puissance aux arbres de transmission avant et arrière. L'arbre de transmission avant transmet le mouvement vers le couple conique et différentiel avant ensuite vers les réducteurs de roues avant ; de la même manière, L'arbre de transmission arrière transmet le mouvement vers le couple conique et différentiel arrière ensuite vers les réducteurs de roues arrière.

2.2. Caractéristiques techniques

Régimes moteur : Moteur 3508 B

- Puissance du moteur 3508 B : 597 KW (800 HP).
- Type de la transmission : à trains planétaires et convertisseur de couple.
- Convertisseur de couple : à trois (03) éléments, avec un embrayage de modulation de réduction de l'effort à la jante.

Un embrayage Lock-up et un stator sur roue libre en option.

- Boîte de vitesse : à commande hydraulique, automatique.

- Nombre de vitesses : 03 vitesses en M. avant et 03 vitesses en M. arrière.
- Embrayages hydrauliques : Multidisques, actionnés hydrauliquement, rappel par ressorts, lubrifiés à l'huile, rattrapage du jeu automatique.
 - Nombre : 05.

Tableau 1. Embrayages hydrauliques

N°1	Marche arrière, type frein, cinq disques et quatre plateaux
N°2	Marche avant, type frein, cinq disques et quatre plateaux
N°3	3 ^{ème} vitesse, type frein, quatre disques et trois plateaux
N°4	2 ^{ème} vitesse, type frein, trois disques et deux plateaux
N°5	1 ^{ère} vitesse, tournant, cinq disques et quatre plateaux

N.B : A chaque rapport de vitesse, deux (02) embrayages sont engagés.

- Train épicycloïdal :
 - Nombre : (03)
 - Type : (02) simples et (01) complexe.
 - Train N°1 : Marche Arrière, simple.
 - Train N°2 : Complexe,
 - Etage 1 : Marche Avant,
 - Etage 2 : 3^{ème} vitesse.
 - Train N°3 : 2^{ème} vitesse, simple.

N.B : La marche arrière est obtenue par le blocage du porte-satellites N°1

2.3. Convertisseur de couple

La mise en point du convertisseur de couple est l'aboutissement des travaux entrepris par l'ingénieur foutineur, travaux qui avaient débuté par la mise au point du coupleur.

L'idée de loger un réacteur ou stator, pièce fixe placée entre l'impulseur et la turbine d'un coupleur, a permis de réaliser un accouplement hydraulique capable de multiplier ou démultiplier le couple du moteur. Plus le facteur de multiplication de couple est élevé, plus le rendement du convertisseur de couple est important.

Le convertisseur de couple multiplie le couple du moteur lorsque le régime de rotation de la turbine diminue, il s'agit comme une boîte de vitesse automatique qui posséderait un nombre illimité de rapports : le convertisseur de couple est une transmission hydrocinétique à variation continue du rapport de transmission.

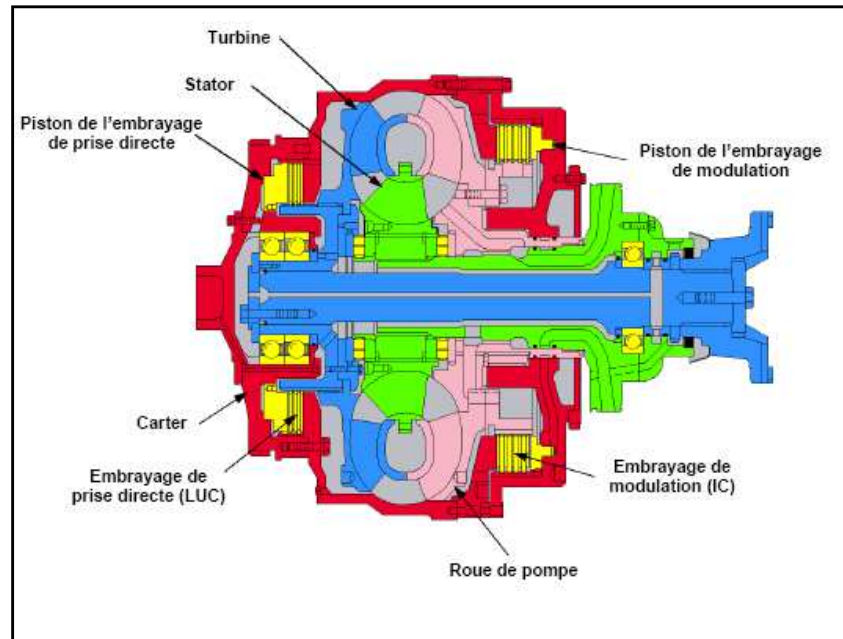


Figure 4. Convertisseur de couple [1]

2.3.1. Fonction

En général, le convertisseur de couple assure les fonctions suivantes :

- Multiplier le couple du moteur au moyen de l'huile lorsque cela est demandé.
- Quand cette multiplication n'est plus souhaitée, il doit jouer le rôle d'un coupleur hydraulique ; c'est-à-dire, assurer uniquement l'accouplement hydraulique entre le moteur et la boîte de vitesses.
- Transmettre une puissance continue et en souplesse à la suite des organes de la transmission.
 - Un troisième élément appelé : « stator » ou « réacteur », en alliage d'aluminium, solidaire complètement ou partiellement au carter du convertisseur.

2.3.2. Principe de fonctionnement

Dans un convertisseur du couple le ralentissement de la turbine dû à une augmentation du couple résistant provoque le déplacement du point d'impact de l'huile sur le réacteur, modifiant ainsi la valeur des bras de levier hydraulique de ce fait le convertisseur de couple

provoque automatiquement une variation infinie de vitesse et de couples dans la limite de plage de fonctionnement. Le facteur de multiplication du couple est d'autant plus important que la différence de régime entre l'impulseur et la turbine est grande. Lorsque le régime tend à s'égaliser, le stator s'oppose à la libre circulation de l'huile entre l'impulseur et la turbine, la perte de rendement qui en résultat provoque une démultiplication du couple, ce qui entraîne une diminution importante des performances. Il est à noter que la force centrifuge s'oppose à la libre circulation de l'huile dans la turbine, l'huile doit en effet se diriger de l'extérieur vers le centre.

Afin d'améliorer le rendement, les orifices qui permettent à l'huile de ressortir de la turbine sont rétrécis de manière à ce que la vitesse de l'huile augmente juste avant de venir frapper contre le stator.

Pour la même raison, le stator possède des orifices d'entrée plus grands que ceux de sortie de manière à accélérer la vitesse de l'huile dirigée cote aspiration de l'impulseur.

2.4.Boîte de vitesse de la chargeuse

La boîte de vitesse est un dispositif mécanique, ou plus généralement mécatronique, permettant d'adapter la transmission d'un mouvement entre un arbre moteur et un arbre récepteur. Utilisée dans de multiples contextes (machines-outils, transports routiers, etc.), son cas d'utilisation le plus fréquent est la transformation et la transmission de la puissance d'un moteur thermique aux roues motrices d'un véhicule.

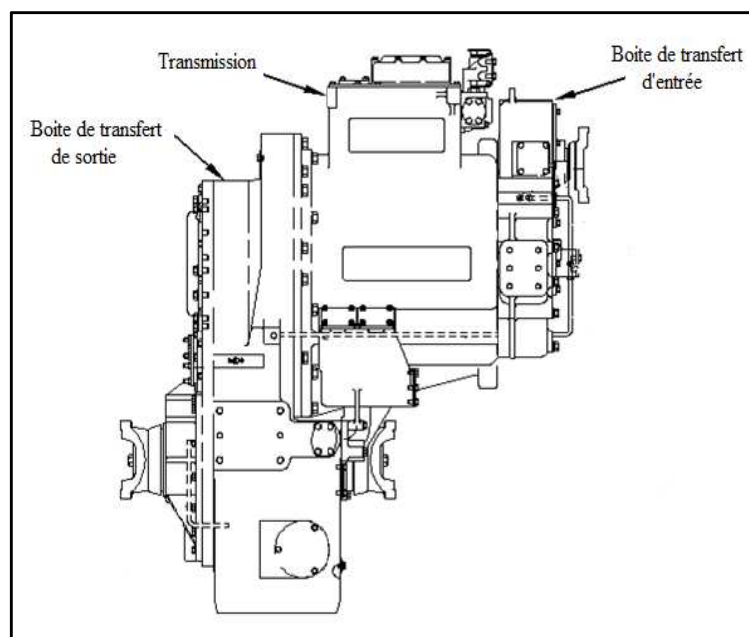


Figure 5. Boîte de vitesses de la chargeuse [1]

2.4.1.Fonction

Elle assure les fonctions suivantes :

- Choisir les rapports des vitesses.
- Assure la marche arrière.
- Permettre une position neutre.

2.4.2.Principe de fonctionnement

Quand le conducteur actionne le levier de changement de vitesses, le fluide met en action les embrayages ou les freins hydrauliques qui dirigent la puissance vers les combinaisons d'engrenage choisies.

Principe : les embrayages hydrauliques contrôlent la transmission de puissance, tandis que les trains épicycloïdaux commandent la transmission de puissance vers la sortie de la boîte de vitesses.

2.5.Moteur CAT (3508)

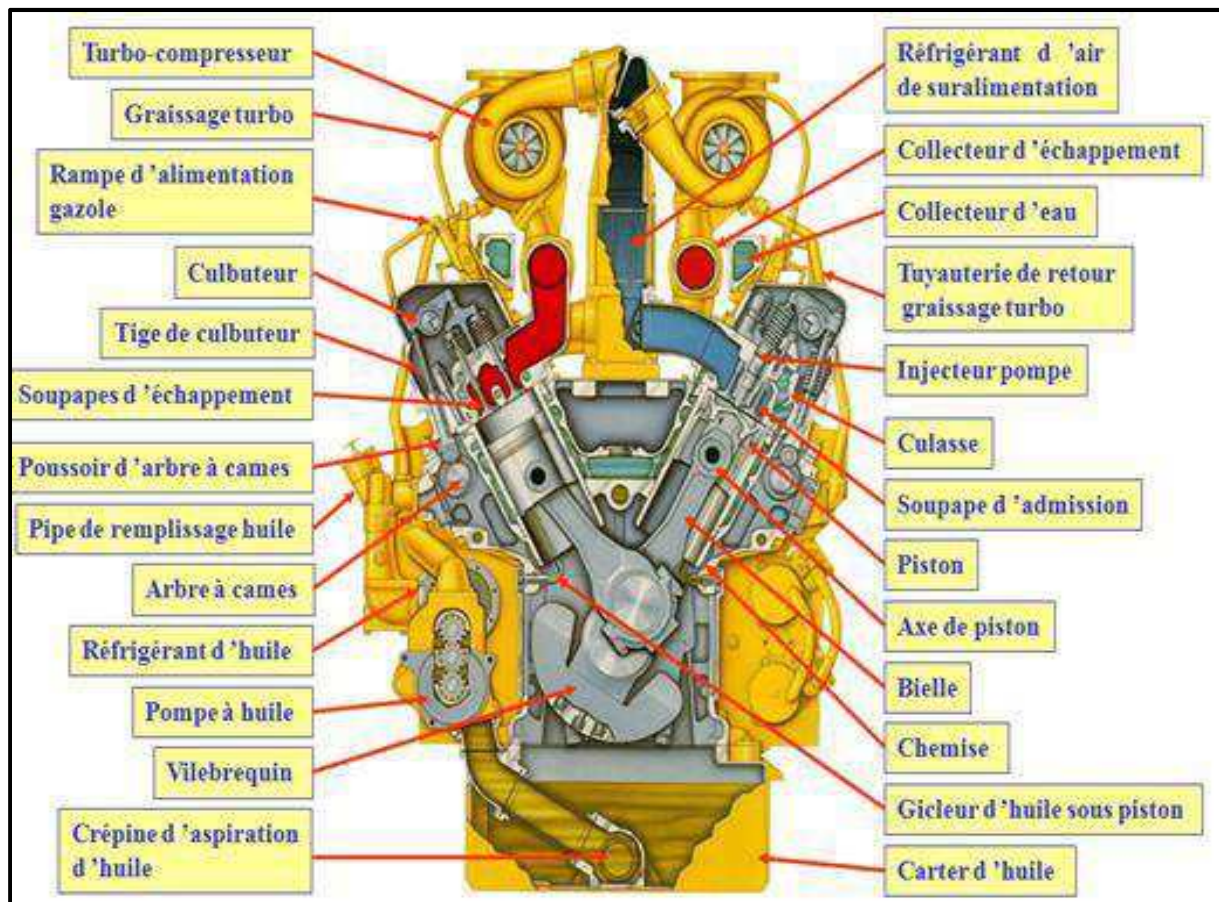


Figure 6. Schéma du moteur [1]

2.5.1. Principe est fonctionnement :

Le moteur CAT 3508 est un moteur 8 cylindres en V de la série 3500, un moteur diesel à quatre temps à injection directe suralimenté par deux turbocompresseurs rotatifs. Chaque culasse a deux soupapes d'admission et deux soupapes d'échappement. L'arbre à cames entraîne mécaniquement les culbuteurs et les soupapes via des poussoirs. Le diesel est injecté directement dans les cylindres. Un régulateur électrique et un mécanisme de commande contrôlent le débit de la pompe d'injection pour maintenir le régime moteur sélectionné par l'opérateur. Les pompes à injection combinent le dosage et le pompage du gazole, qui est acheminé vers les injecteurs (un pour chaque cylindre). L'avance de synchronisation automatique assure une injection optimale dans n'importe quelle plage de régime moteur. L'air d'admission est filtré par un filtre à air. L'air est comprimé avant d'entrer dans les cylindres par le turbocompresseur.

Le turbocompresseur est entraîné par les gaz d'échappement du moteur. Le moteur est suralimenté et inter refroidi. Le liquide de refroidissement du refroidisseur est mis en circulation par la pompe à eau dans le bloc cylindres.

➤ Régimes moteur : Moteur 3508 B

Tableau 2. Régime moteur

Plein régime à vide	$1850^{\pm 10}$ t/mn
Bas régime	$900^{\pm 10}$ t/mn
Plein régime en charge	$1750^{\pm 10}$ t/mn
Calage	- $1625^{\pm 30}$ t/mn ; 1 ^{ère} vitesse Avant - $1710^{\pm 30}$ t/mn ; 3 ^{ème} vitesse Avant

3. Pose du problème et solution proposée

3.1. Problématique

Nous savons tous que la maintenance des engins est basée tout d'abord sur la connaissance des notions de base de la machine telles que ses caractéristiques techniques, ses composantes et sa fonctionnement etc... et une bonne formation pratique qui nous permet de mieux comprendre la meilleure méthode adaptée pour réaliser la tâche d'un technicien de maintenance. Or dans la DMM on a la chargeuse CATERPILLAR 992G qui est un nouvel équipement assurant un rôle principal mais le problème se manifeste par le manque de suffisamment des

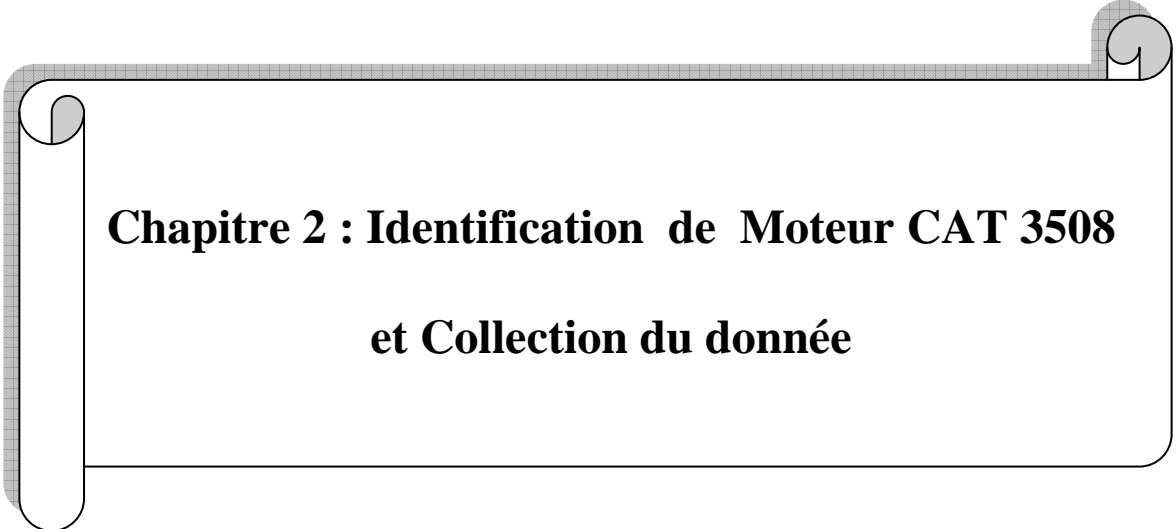
connaissances et des formations chez les techniciens sur le maintenance préventive de cet engin et l'absence de l'analyse AMDEC.

3.2.Solution proposée

Comme solution nous allons adopter dans notre projet une étude détaillée sur les différentes composantes de cette chargeuse, ses caractéristiques et sa fonctionnement puis on va concevoir l'application AMDEC sur moteur CAT 3508 en se basant sur historiques des pannes ce qui va faciliter la maintenance préventive, identification les pannes et gagne le temps.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la société d'accueil CPG et les différents éléments de la chargeuse Caterpillar 992G. On a présenté aussi la problématique et proposé notre solution.

A decorative frame resembling a scroll, with a grey grid pattern on the top and right edges and a white background for the text area.

Chapitre 2 : Identification de Moteur CAT 3508 et Collection du donnée

Introduction

Ce chapitre est divisé en trois parties, la première s'intéresse aux composantes nécessaires du moteur CAT 3508, la deuxième partie est focalisée sur la planification de maintenance et la dernière partie consacrée à collection des données des pannes (chargeuse Caterpillar 992G)

1. Les pièces de base du moteur CAT (3508) :

1.1. Les pièces Fixe :

1.1.1. Le bloc moteur :

C'est le composant principal du moteur. Généralement coulé en fonte monobloc. Le cylindre peut être usiné ou creusé pour accueillir la chemise. La circulation d'eau assure leur refroidissement et leur lubrification. Les blocs de la série CAT 3500 comportent des portes d'accès pour accéder aux embiellages, aux paliers de vilebrequin et aux arbres à cames.

Le bloc cylindre doit remplir plusieurs fonctions :

- * Résister à la pression des gaz, qui tendent à dilater et à repousser la culasse.
- * Guider le piston.
- * Contenir l'eau de refroidissement tout en résistant à la corrosion.
- * Comme, un support, qui reçoit les ensembles moteurs des cylindres, chemise.

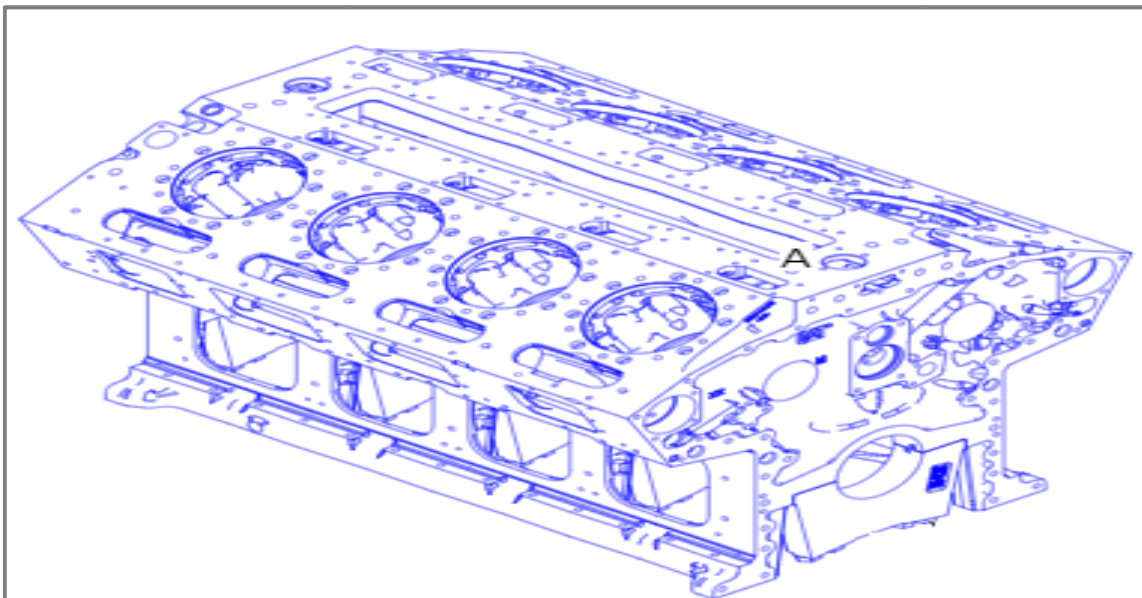


Figure 7. Bloc Moteur V8

1.1.2. Cylindre :

On englobe généralement sous le mot de bloc cylindre l'ensemble fixe constitué par le tube, les cavités de refroidissement, les supports d'organes de distribution et les amorces des tubulures de circulation d'eau, d'alimentation et d'échappement. Le cylindre surmonté de la culasse réalise la chambre de combustion, il est constitué par un tube parfaitement alésé qui contient le piston.. Ils sont généralement en fonte

1.1.3. Chemise de cylindre :

Les chemises de cylindres CAT sont en fonte centrifuge spécifique et démontables. Chaque douille est fixée dans sa partie supérieure par sa collerette vissée entre la culasse et le bloc. La partie inférieure est guidée dans le bloc, l'étanchéité est assurée par un joint torique. La surface extérieure est traitée anti-oxydation et la surface intérieure est pierrée. Ils sont du type à chemise humide, fabriqués séparément, fixés au bas du bloc, positionnés par une surface plane. Ils sont en contact direct avec le liquide de refroidissement.

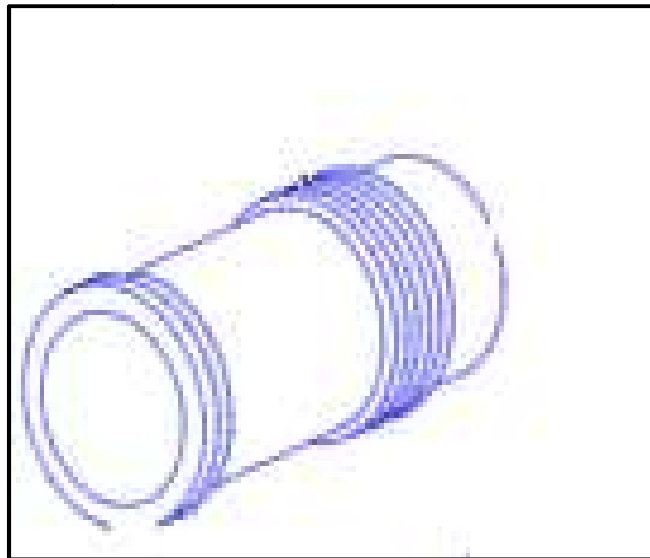


Figure 8. Chemise de cylindre

1.1.4. Culasse :

La culasse de la série 3508 est individuelle avec quatre soupapes par cylindre. Ils sont fabriqués en alliage de fonte. La plaque centrale en aluminium sert de support pour le bloc et la chemise. Les guides et les sièges de soupapes sont amovibles (ajustement serré). Le puits d'injecteur central est usiné directement dans la culasse. Des passages d'huile assurent la lubrification des culbuteurs et des tiges de soupapes.

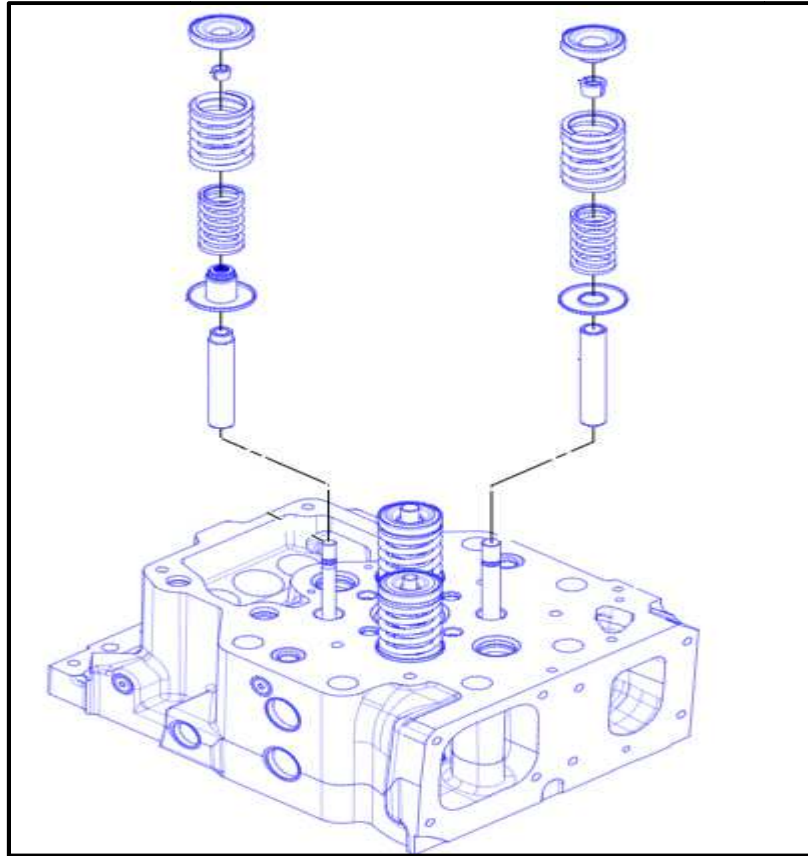


Figure 9. Culasse

1.1.5. 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.

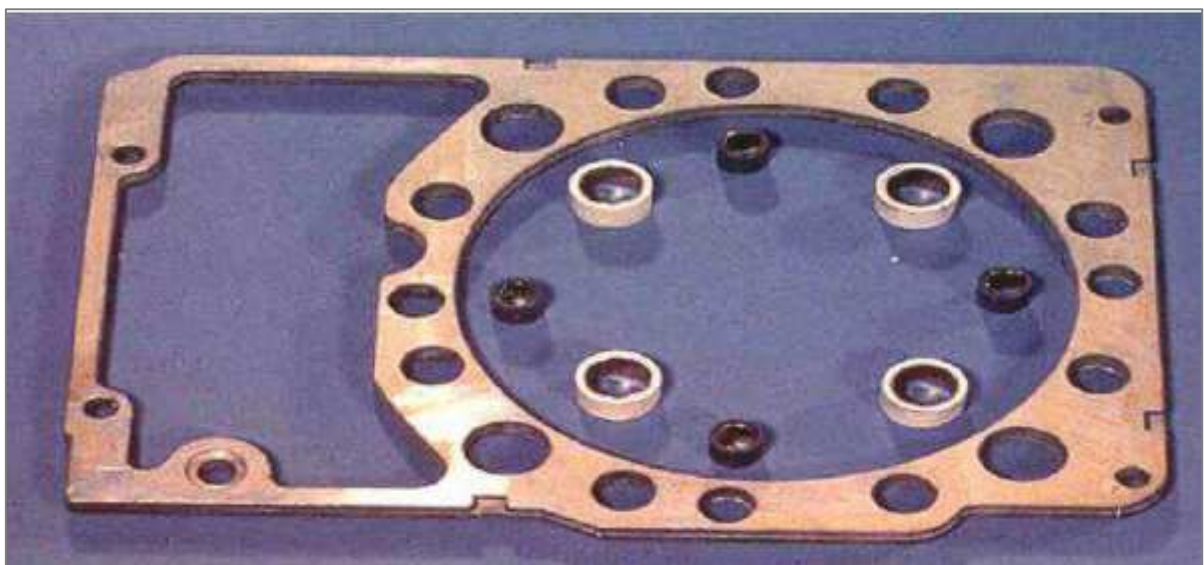


Figure 10. joint de culasse

1.1.6. Carter :

Le carter est une enveloppement métallique placée à la partie inférieure du moteur, le carter se compose de :

- * Le demi-carter supérieur fixé par les boulons à la partie inférieure de bloc-cylindres. Il est coulé avec l'ensemble du bloc-cylindres.
- * Le demi-carter inférieur ferme complètement la partie inférieure de bloc moteur.



Figure 11. carter

1.1.7. Turbocompresseur :

Un turbocompresseur augmente la puissance et l'efficacité d'un moteur en comprimant l'air entrant, ce qui permet d'injecter plus de carburant et une combustion plus puissante. Il en résulte une amélioration des performances du moteur, une réduction de la consommation de carburant et des émissions plus propres.

- Compression de l'air
- Augmentation de la puissance
- Amélioration de l'efficacité

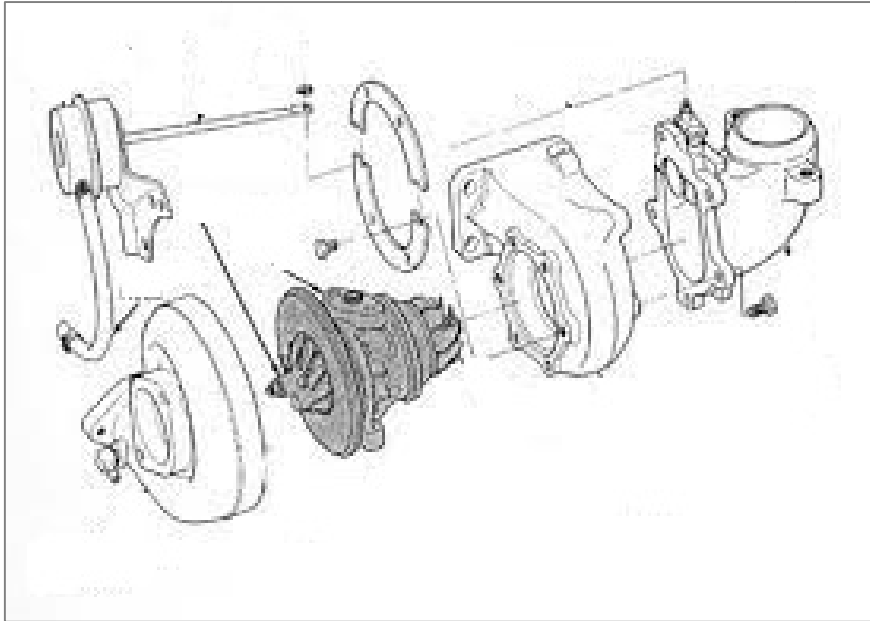


Figure 12. Turbocompresseur

1.1.8. Injecteur :

Le système d'injection directe, ce qui signifie que le carburant est injecté directement dans la chambre de combustion des cylindres à des pressions élevées. Leur objectif est de pulvériser le carburant diesel en fines particules pour assurer une combustion complète et efficace.

- Injection de carburant
- Contrôle du débit de carburant
- Réglage précis de l'injection.



Figure 13. Injecteur

1.2. Les pièces mobiles :

La transmission de 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.

1.2.1. Le piston :

Le piston est entraîné par un mouvement linéaire alternatif et est en fonte alliée. La tête de piston fait partie de la chambre de combustion. Pour cette raison, il est parfois évidé, et la cavité est conçue pour créer des turbulences qui favorisent la combustion. Des segments sont logés dans la partie haute du piston, la tête, assure l'étanchéité de la chambre de combustion. On distingue le segment de feu, les segments de l'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 de piston afin d'éviter qu'il soit soumis directement à la chaleur dégagée lors de la combustion.

1.2.2. Bielle :

La bielle est un organe de liaison entre le piston et le vilebrequin par l'intermédiaire du bras de manivelle du vilebrequin, elle transforme le mouvement circulaire continu de l'arbre de vilebrequin. Elle est en acier très résistant.

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 de cylindre.

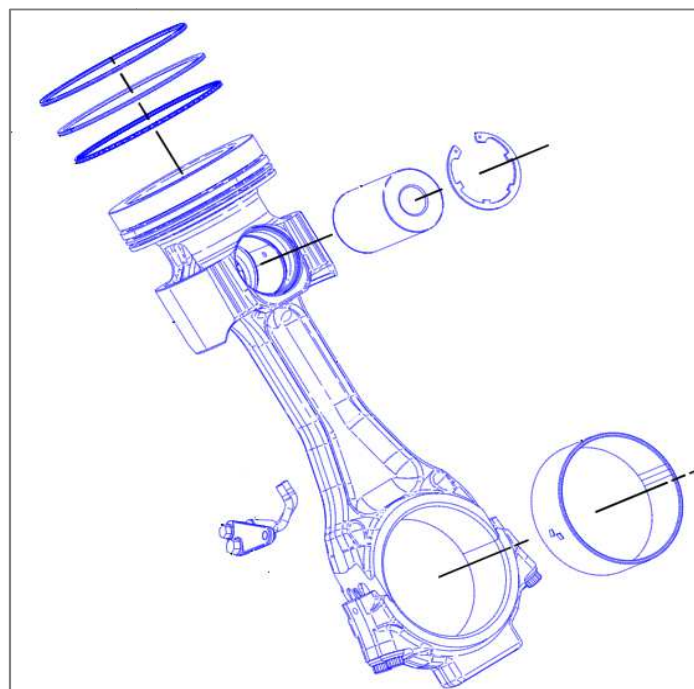


Figure 14. Piston et bielle

1.2.3. L'arbre moteur :

Il se compose d'un vilebrequin et d'un volant moteur qui transmet l'énergie générée lors de la combustion sous forme de couple. Le réglage de l'équilibre de marche du moteur avec le vilebrequin en rotation se fait par le volant moteur. Le vilebrequin est soigneusement fabriqué en acier au nickel-chrome, et l'usinage de précision, le traitement thermique et l'équilibrage des pièces rotatives font du vilebrequin le cœur du moteur et l'un de ses composants les plus coûteux.

Parmi les éléments principaux du vilebrequin on distingue :

Les tourillons qui matérialisent l'axe de rotation du vilebrequin.

Les manetons sur lesquels s'articulent les bielles.

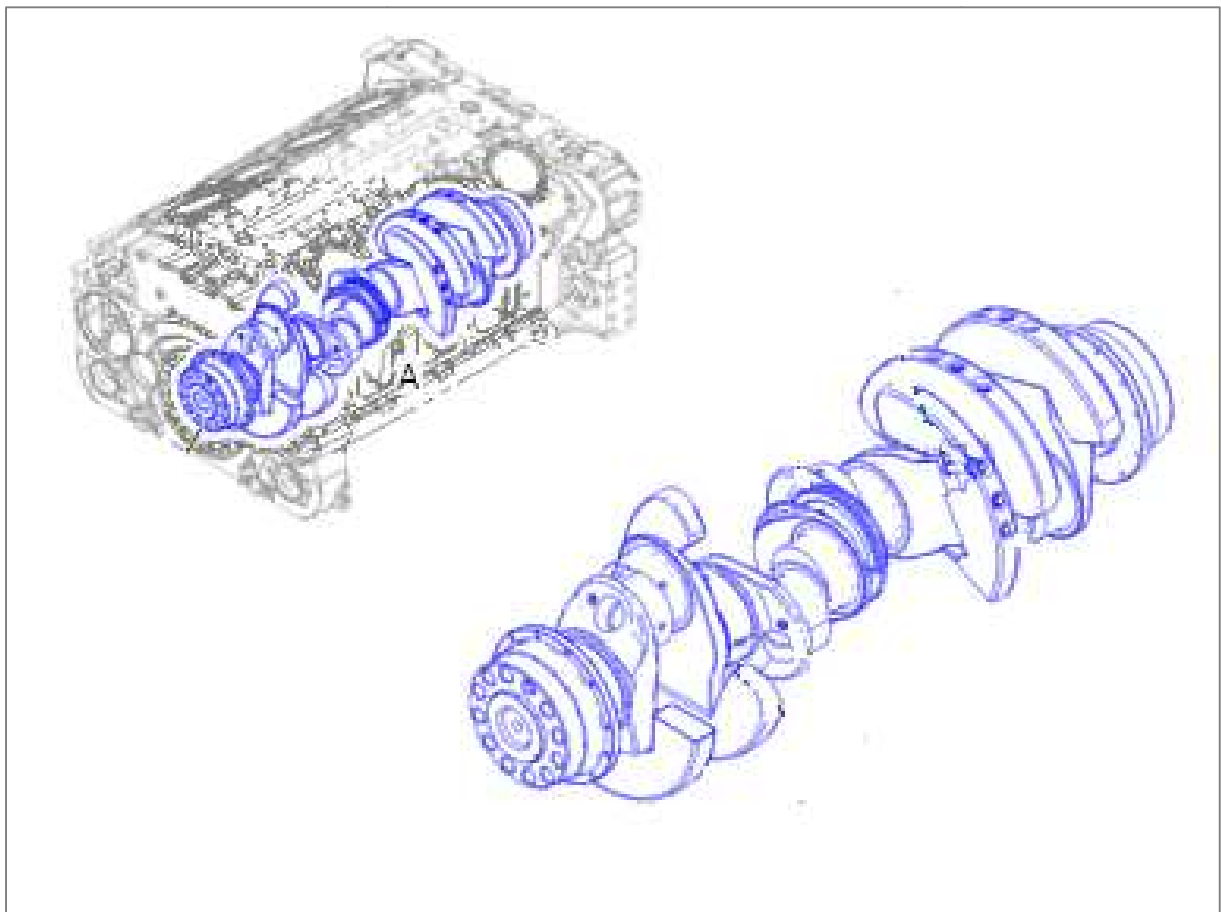


Figure 15. vilebrequin

1.2.4. L'arbre à cames :

Il est entraîné par un vilebrequin et possède autant de cames que de soupapes. Son emplacement dans le moteur varie en fonction de la conception de la distribution. La solution la plus populaire sur les moteurs à haute puissance est la synchronisation du

distribution culbutée. L'arbre à cames est situé dans le bloc et son entraînement est assuré par un ensemble d'engrenages avec un rapport d'un demi ($1/2$). La liaison arbre à cames-soupapes est assurée par un ensemble de poussoirs, culbuteurs et culbuteurs. Lorsque la pression transmise par la came de l'arbre à cames s'arrête, le ressort hélicoïdal installé autour de la soupape ferme automatiquement la soupape. Lorsque l'arbre à cames est dans la culasse, on dit qu'il est en tête. Cette solution permet de réduire le nombre de composants et donc de réduire le poids des systèmes de distribution, poussoirs, culbuteurs, culbuteurs. La liaison arbre à cames-vilebrequin est alors réalisée par une courroie crantée.

Cette conception de distribution moderne bénéficie de plusieurs avantages :

- Réduction des masses en mouvement.
- Lubrification du système de liaison inexistant.
- Fonctionnement silencieux.

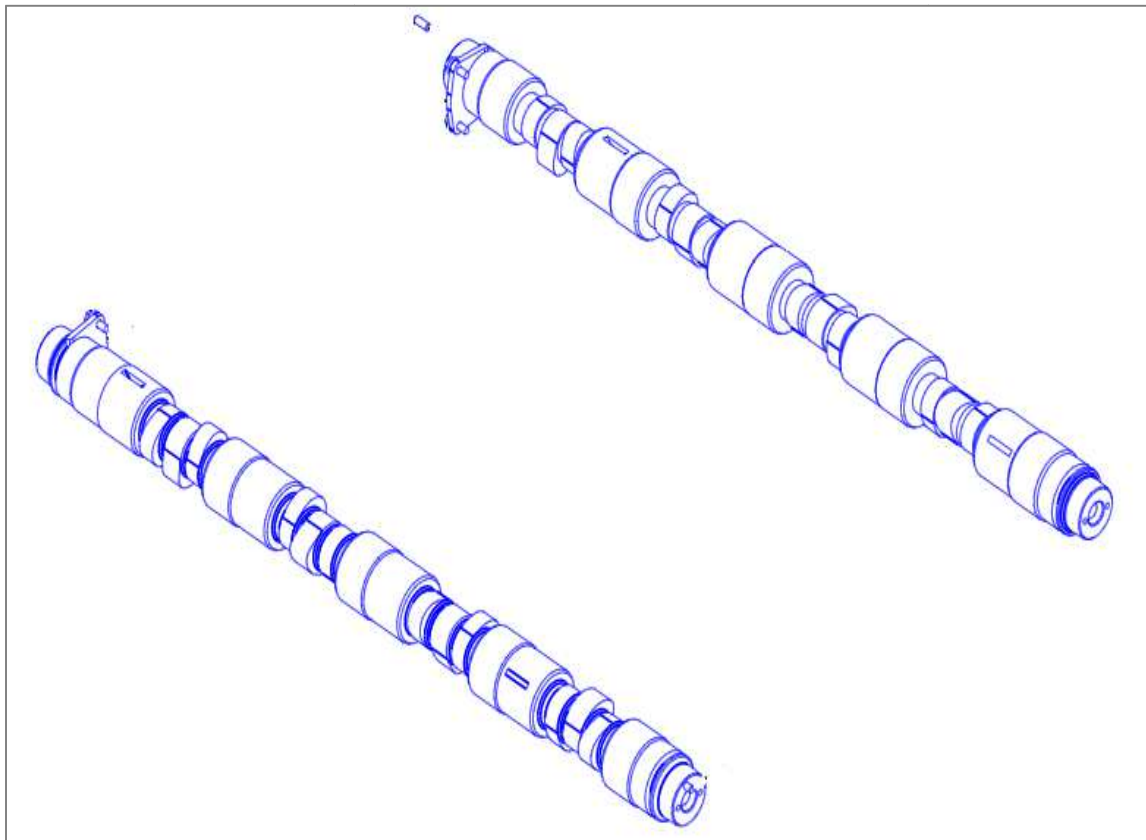


Figure 16. Arbre à cames

1.2.5. Les soupapes :

Selon la conception et la puissance du moteur, le nombre de soupapes par cylindre passe généralement à deux, une pour l'admission et l'autre pour l'échappement. Dans certains moteurs, afin d'augmenter la charge du cylindre, chaque cylindre peut être équipé de trois voire quatre soupapes. Chaque soupape est constituée d'une tête munie d'un porté conique et d'une tige qui permet de guider.

On distingue deux sortes de soupapes :

- Les soupapes d'admission.
- Les soupapes d'échappement

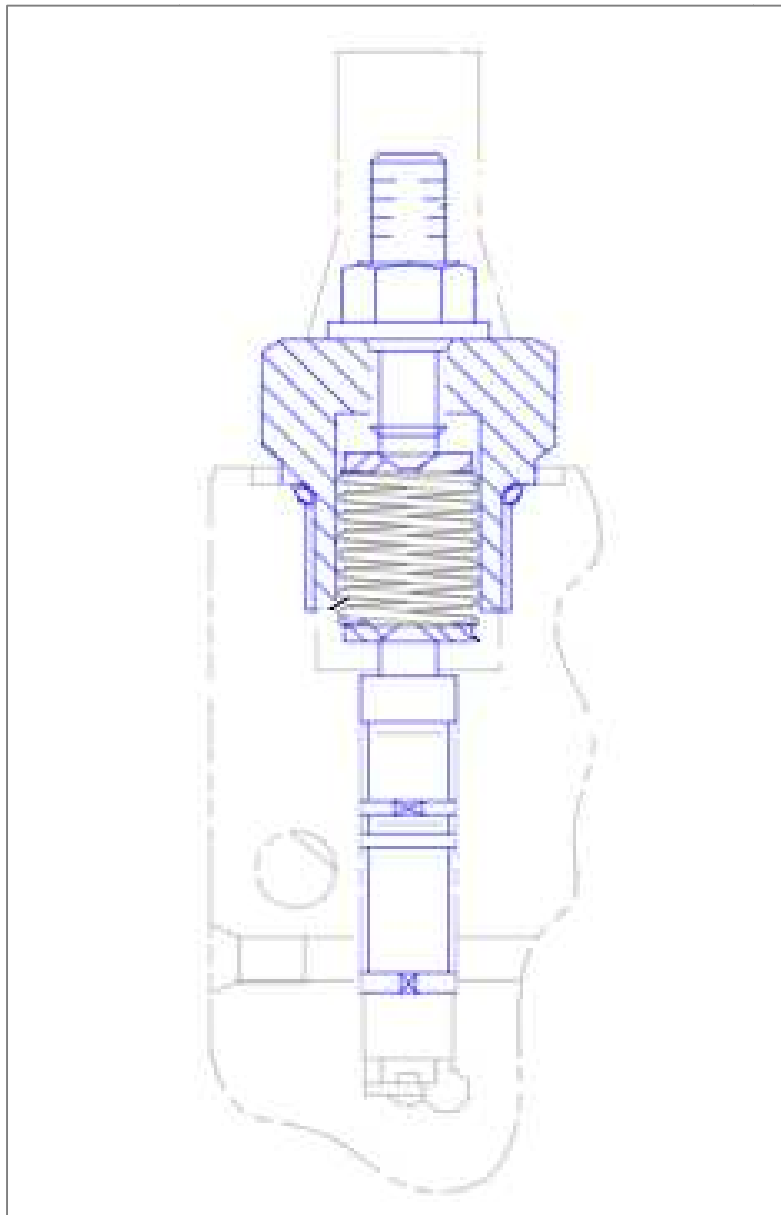


Figure 17. Soupape

1.2.6. Les culbuteurs :

Quelque fois appelés aussi basculeurs, les culbuteurs transmettent le mouvement des cames 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.

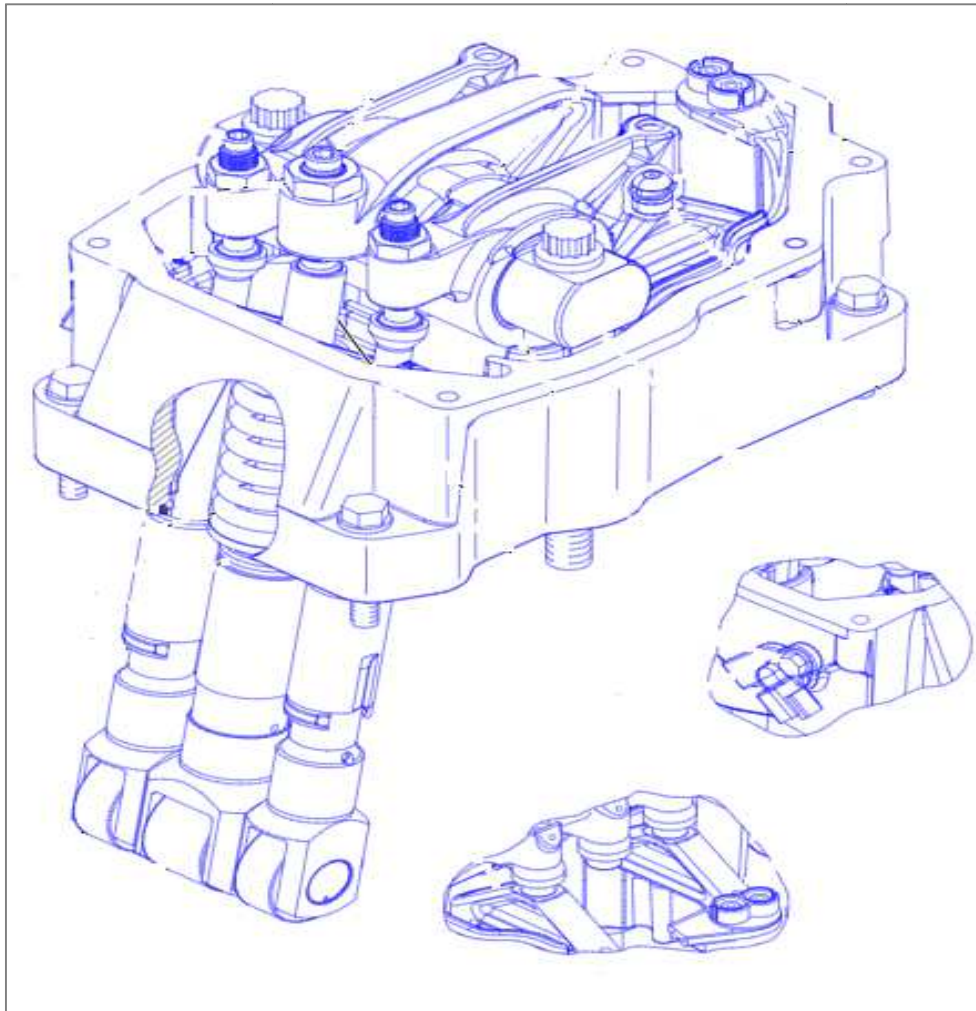


Figure 18. Culbuteur

2. Planification de la maintenance :

2.1. Maintenance :

2.1.1. Définition :

La maintenance est : « Tous les facteurs qui rendent possible la maintenance ou la restauration Le système est en état de marche » tel que défini par le dictionnaire **LAROUSSE**.

L'association française de normalisation **AFNOR** maintient à travers des définitions normatives NF-X-60-010 comme : « Toutes les opérations permettant une maintenance ou une remise en état d'un bien dans un état spécifié ou capables de fournir des services spécifiés »
Le terme maintenir renferme la notion de prévention sur un système en fonctionnement tandis que rétablir supporte la notion de correction après défaillance. Les termes état spécifié et les services concrets portent le concept d'objectifs prédéterminés à atteindre grâce à la quantification paramètres mesurables. Cette définition **AFNOR** oublie l'aspect économique, qui est un inconvénient. Remplir le document introductif NF-X-60-010 introduisant la notion de coût Le strict minimum : « Rester en forme, c'est s'assurer que ces opérations se font au meilleur coût global ».

Le projet **CEN** (Comité Européen de Normalisation) définit la maintenance comme :
« L'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de gestion durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise »

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.
- **Coût optimal** qui conditionne l'ensemble des opérations dans un souci d'efficacité économique.

2.1.2. Rôle de maintenance :

Il incombe au service maintenance de mettre en œuvre la politique de maintenance établie. La politique mise en œuvre par la direction de l'entreprise doit permettre d'atteindre le rendement le plus élevé possible. Dans les systèmes de production, l'importance de chaque équipement peut varier. Il est essentiel d'identifier les approches les plus appropriées.

2.2. Stratégie de la maintenance :

2.2.1. La notion de la maintenance :

Défaillance selon la norme NF X 60 – 011 : « Un élément qui change ou cesse de remplir sa fonction requise ».

Synonymes courants non standard : "Failure" (en anglais), échec, défaillance, dommage, défaut, anomalie, accident, détérioration

Une défaillance peut être

- **Partielle** : Si la capacité de l'actif à remplir sa fonction requise change.
- **complète** : si la capacité de l'actif à exécuter la fonction requise a cessé.
- **Intermittent** : Si un actif revient à son adéquation après une période de temps limitée sans aucune action corrective externe.

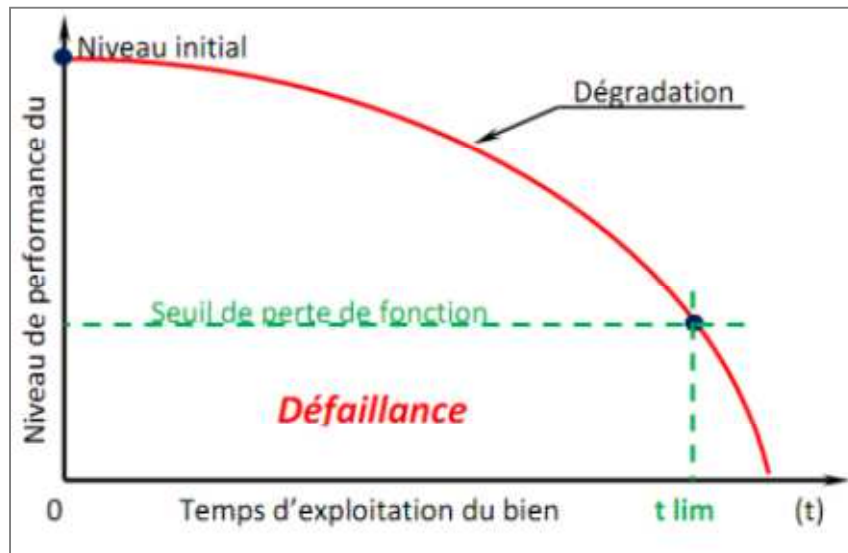


Figure 19. Dégradation du bien et durée de vie

2.2.2.Fonction requise :

Fonctionnalité d'un produit dont la mise en œuvre est nécessaire pour fournir un service donné. Le concept de service peut recouvrir une tâche, une série d'étapes qu'un produit doit franchir dans un intervalle de temps donné. La fonction souhaitée peut être une fonction unique ou un groupe de fonctions.

2.2.2.1. Dégradation :

La dégradation est la perte de performances d'une des fonctions assurées par une entité ou alors un sous-ensemble lui-même dégradé, voire défaillant, sans conséquence fonctionnelle sur l'ensemble.

2.2.2.2.Panne :

L'état dans lequel le produit est incapable d'exécuter les fonctions requises dans les conditions d'utilisation données : Il s'agit d'un état. Cela échoue toujours.

2.2.2.3.La conception de la maintenance :

L'analyse des différentes formes de maintenance repose sur 4 concepts :

- **Événements issus d'actions** : calendrier de référence, types d'événements subordonnés (autodiagnostic, informations de capteurs, mesures d'usure....) occurrence de défauts.

- **Les méthodes de maintenance associées sont** : la maintenance préventive systématique, la maintenance préventive conditionnelle et la maintenance corrective.
- **Opérations de maintenance** : inspection, contrôle, dépannage, réparation, etc...
- **Activités similaires** : amélioration de l'entretien, rénovation, reconstruction, modernisation, construction neuve, sécurité, etc...

2.3. Méthode de la maintenance :

Le choix entre les méthodes de maintenance est effectué dans le cadre de la **politique** de maintenance et doit être convenu avec la direction de l'entreprise.

Pour choisir, il faut donc connaître :

- Les objectifs de la direction.
- Les directions politiques de maintenance.
- Le fonctionnement et les caractéristiques du matériel.
- Le comportement du matériel en exploitation.
- Les conditions d'application de chaque méthode.
- Les coûts de maintenance. - Les coûts de perte de production.

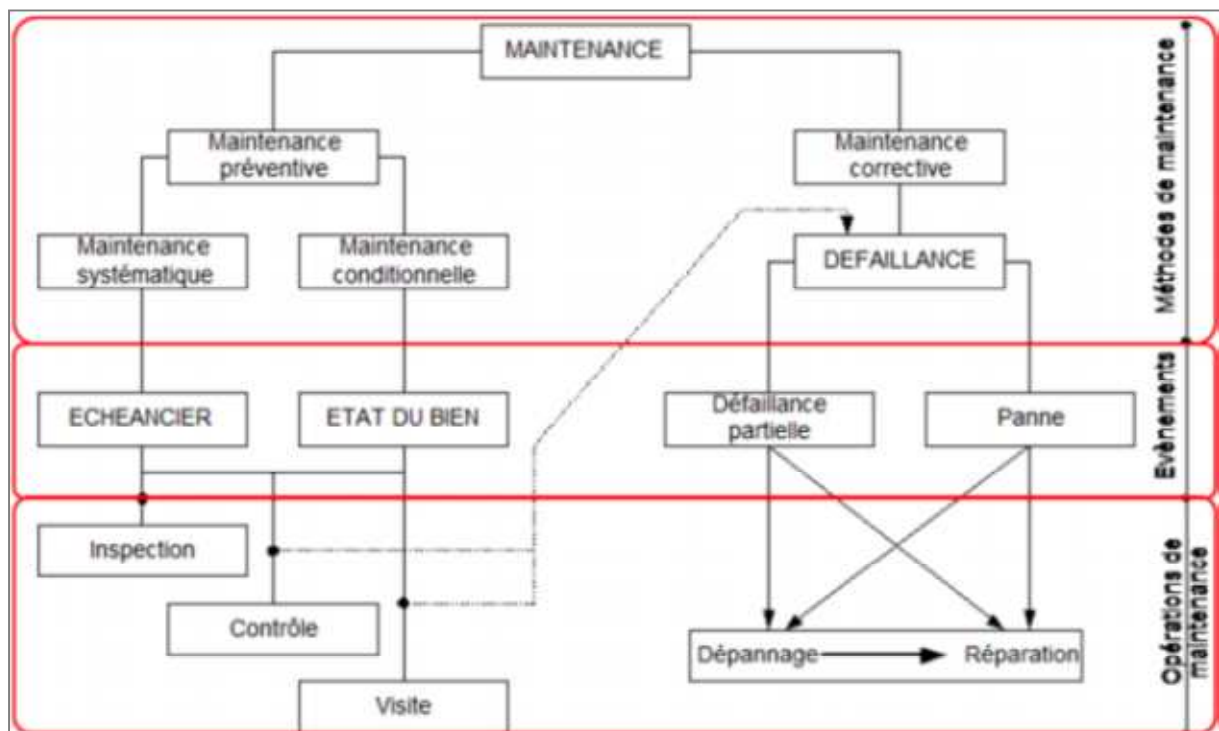


Figure 20. Les méthodes de la maintenance

2.4. La maintenance corrective

Définition AFNOR (Norme X 60-010) : « Actions de maintenance réalisées après une panne ». La maintenance corrective correspond à une attitude défensive d'attente de pannes

inattendues, attitude caractéristique de la maintenance ordinaire. Actions de maintenance corrective : Après une panne, sa maintenance doit effectuer un certain nombre d'opérations, qui s'effectuent par étapes (dans l'ordre) :

- **Test** : c'est à dire la comparaison des mesures avec une référence.
- **Détection** ou action de déceler l'apparition d'une défaillance.
- **Localisation** ou action conduisant à rechercher précisément les éléments par lesquels la défaillance se manifeste.
- **Diagnostic** ou identification et analyse des causes de la défaillance.
- **Dépannage**, réparation ou remise en état (avec ou sans modification).
- **Contrôle** du bon fonctionnement après intervention.
- **Amélioration** éventuelle : c'est à dire éviter la réapparition de la panne.
- **Historique** ou mise en mémoire pour une exploitation ultérieure.

2.5. Maintenance préventive

La maintenance préventive implique la maintenance et la révision des actifs d'une organisation pour les maintenir dans un état de fonctionnement optimal. L'inspection et l'observation systématiques peuvent détecter et corriger les problèmes avant qu'ils ne surviennent.

Un programme de maintenance planifiée est nécessaire lorsque la qualité de la production souffre en raison de défauts d'équipement ou lorsque des réparations majeures imprévues rendent le dépannage trop coûteux.

But de la maintenance préventive :

- Augmenter la durée de vie des équipements
- Probabilité réduite de pannes de service
- Réduction des temps d'arrêt pour maintenance ou panne
- Prévenir et planifier des interventions coûteuses de maintenance corrective
- Permet de prendre les décisions de maintenance corrective en bon état
- Evite les consommations anormales d'énergie, de lubrifiants, de pièces de rechange.
- Améliorer les conditions de travail du personnel de production.
- Éliminer les causes d'accidents graves.

Opérations de la maintenance préventive :

Inspection, Contrôle, Visite, Test, Echange standard, Révision.

2.5.1.La maintenance préventive systématique :

Les interventions sont effectuées à des dates pré-planifiées à une périodicité dépendant de différents facteurs d'usure du matériel.

Même si le temps est l'unité la plus couramment utilisée, d'autres unités peuvent être utilisées telles que : quantité de produit fabriqué, longueur de produit fabriqué, distance parcourue, qualité du produit fabriqué, nombre de cycles exécutés, etc... Le nombre d'interventions à cette périodicité est déterminée par la mise en service ou à déterminer à l'achèvement ou à la révision partielle.

Cette méthode nécessite de connaître :

- Le comportement du matériel.
- Les modes de dégradation.
- Le temps moyen de bon fonctionnement entre deux avaries (Détérioration).

2.5.2.La maintenance préventive conditionnelle :

Selon la norme NF EN 13306, il s'agit « d'une maintenance préventive, soumise à un événement prédéterminé (autodiagnostic, informations de capteurs, mesures, etc.) ou à l'analyse de l'évolution de paramètres importants de dégradation et de décroissance surveillés dans le performance de l'entité ».

La maintenance conditionnelle met en évidence des faiblesses qui doivent être mesurées pour les opérations de maintenance. Elle est également connue sous le nom de maintenance prédictive.

2.6.La maintenance d'amélioration :

La maintenance améliorée est un processus dont l'objectif est, comme son nom l'indique, d'améliorer les biens d'équipement en apportant des modifications, des altérations et des transformations à un ou plusieurs équipements, équipements ou installations.

Autre point intéressant découlant de la mise en place d'une maintenance améliorée :

l'amélioration et l'optimisation des autres processus de maintenance.

3. Collection du donnée des pannes de la chargeuse 992G

3.1. Historique des pannes 2019 :

Ce tableau résume les pannes de la chargeuse 992 G d'année 2019.

Tableau 3. Historique des pannes pour la chargeuse 992 G 2019

Siège	Date cde	S/E	N* Série	Motif DPS	Date intrv	Travaux réalise	Travaux à faire
11	3/2/19	BV	19173118	Intervention sur boîte vitesse (engagemen t de la vitesse)	4/2/19	Blocage la vitesse en premier vitesse	Terminer
11	27/6/19	MT	19173118	Intervention sur moteur (Bruit anormal coté droite).	28/6/19	vérification et nettoyage fiches injecteurs, démarrage et essai à vide: pas de bruit anormal, fumée normale.	Terminer.
11	15/7/19	MT	19173118	Intervention sur moteur (fuites d'huile).	18/7/19	Fuite d'huile moteur probablement au niveau de pare- huile pompe lubrification ponts, la fuite n'est pas claire.	nettoyage pour vérifier la source de fuite: pare-huile, joint de plaque ou bague.
11	21/8/19	MT	19173118	Intervention sur moteur (alarme au niveau	24/9/19	Diagnostic, historique présence code défaut sur la	A pousser le diagnostic changer le faisceau

				d'injecteur N°5).		tension aux injecteurs 5 et 7.	moteur et les injecteurs
11	16/11/19	MT	19173118	Intervention sur moteur (fuite d'échappement).	20/11/19	coude de liquide de refroidissement (abimé).	Terminer
11	2/12/19	CC	19173118	Intervention sur (convertisseur du couple)	3/12/19	Problème au niveau de la bobine (Lock-up)	Changer la bobine impulseur Lock-up

3.2. Historique des pannes 2020 :

Ce tableau résume les pannes de la chargeuse 992 G d'année 2020.

Tableau 4. Historique des pannes pour la chargeuse 992 G 2020

Siège	Date cde	S/E	N* Série	Motif DPS	Date intrv	Travaux réalisés	Travaux à faire
11	7/1/20	BV	19173118	Intervention sur boîte vitesse	8/1/20	Problème de changement de la vitesse	Terminer
11	19/2/20	MT	19173118	Intervention sur moteur (fumée grise anormal).	27/2/20	déclaration erreur des injecteurs N°1, 5 et 7, présence fumée noire coté droite.	A pousser le diagnostic. changer les injecteurs.).

11	12/4/20	CC	19173118	Intervention sur convertisseur de couple	13/4/20	Problème de stator	Terminer
11	7/5/2020	MT	19173118	Intervention sur moteur (fuites d'huile).	10/5/20	changement joints torique et joint plat, nettoyage bague.	A éliminer les fuites d'huile
11	9/9/20	MT	19173118	Intervention sur moteur (alarme au niveau d'injecteur N°5 et 7).	12/10/20	Vérification faisceau moteur avec multimètre, changement injecteur N°5 et 7 et faisceau injecteurs	A pousser le diagnostic Et changer les injecteurs
11	16/11/20	MT	19173118	Intervention sur moteur.	20/11/20	Changement ECM moteur).	Terminer

Conclusion :

A l'issue de ce chapitre, on a présenté les pièces nécessaires du moteur CAT (3508). On est parvenu avec étude détaillée la palification de la maintenance. Finalement on donne la collection des données des pannes pour chargeuse Caterpillar 992 G sous forme tableaux.

A decorative frame shaped like a scroll, with a grey grid pattern on the top and left edges. The frame contains the chapter title in the center.

Chapitre 3 : Les outils d'analyse

Introduction :

Le troisième chapitre est consacré la présentation des outils d'analyse [diagramme de Pareto, le Diagramme d'Ishikawa 5M (digramme cause et effets)] avec une étude détaille sur l'analyse de mode des défaillances de leurs effets et leurs criticité (AMDEC).

1. Loi de 80/20 :

Le diagramme de Pareto, également connu sous le nom de règle 80/20, est un processus d'optimisation et de résolution de problèmes bien connu dans les environnements industriels. En général, on se rend compte que dans la plupart des cas, 80% des effets sont causés par 20% des causes. En ce qui concerne la maintenance, cela signifie que 80 % des temps d'arrêt des équipements seront causés par seulement 20 % des causes de défaillance. Cependant, pour tirer une telle conclusion, une analyse préliminaire est encore nécessaire, que nous allons illustrer en détail ci-dessous avec un exemple simple.

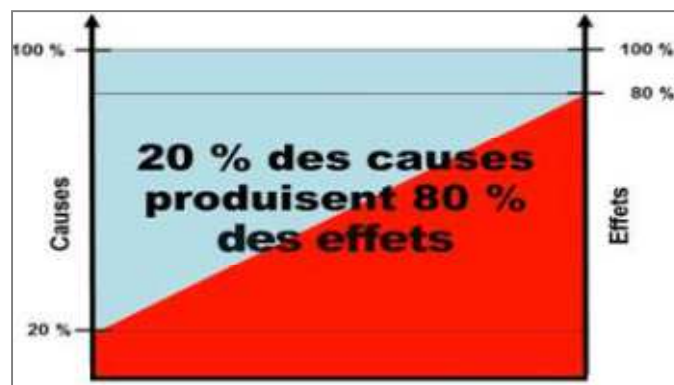


Figure 21. La loi des 80/20

Remarque : Il suffit de travailler prioritairement sur ces 20% des causes pour influencer fortement les effets d'un phénomène.

2. L'intérêt du diagramme de Pareto :

Un diagramme de Pareto met en évidence ce type de relation à travers sa présentation, qui prend la forme d'un histogramme d'une distribution, avec les plus grandes colonnes généralement à gauche et décroissant vers la droite. Les lignes de pourcentage cumulées indiquent l'importance relative des colonnes. Ainsi, quiconque à qui nous donnons la clé de lecture facile comprend qu'il doit d'abord regarder la colonne de gauche du diagramme. Il s'agit de se concentrer sur les quelques éléments essentiels.

✓ L'analyse ABC :

La méthode ABC complète en quelque sorte le diagramme de Pareto en définissant trois classes A, B et C qui conventionnellement se caractérise par trois seuils qui se distribuent de la manière suivante :

- **Classe A** : Les items accumulant 80% de l'effet observé
- **Classe B** : Les items accumulant les 15% suivants
- **Classe C** : Les items accumulant les 5% restants

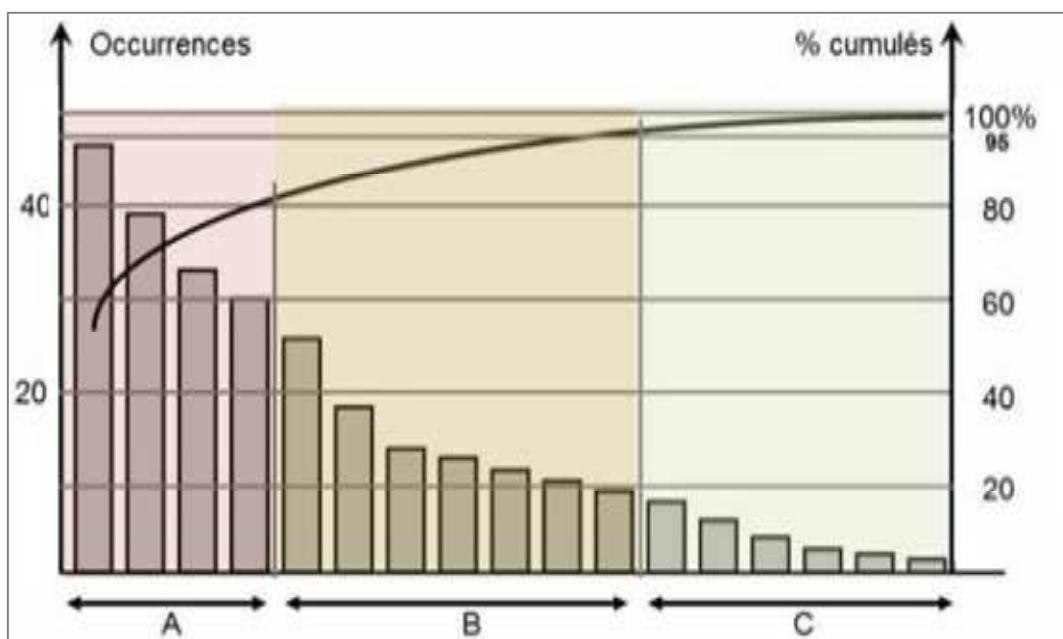


Figure 22. Le Diagramme de Pareto (application)

3. Diagramme d'Ishikawa 5M (diagramme cause /effet):

3.1. Présentation :

C'est un outil qui permet d'identifier la cause d'un problème. Nous avons une vision globale des causes des problèmes et une représentation structurée de toutes les causes des effets. Il existe une relation hiérarchique entre les causes et la capacité à identifier la cause première du problème. Les diagrammes d'Ishikawa (ou diagrammes en arête de poisson, diagrammes de cause à effet ou 5M) peuvent limiter l'oubli des causes et fournir des éléments pour la recherche de solutions. Cette approche corrige les lacunes en agissant sur les causes et apporte des solutions en appliquant des actions correctives.

Dans un premier temps, vous devez définir directement l'effet à appliquer.

Il est important de s'entendre sur la définition et les caractéristiques du problème traité.

Pour cela il faut :

Faites une liste, par exemple en utilisant une technique de "brainstorming", de toutes les raisons qui pourraient être pertinentes pour le problème considéré.

Il faut aller en profondeur et explorer toutes les dimensions d'une situation donnée
Classer toutes les causes d'un problème donné par famille (3 à 5 familles est un **choix** raisonnable)

3.2. Dans quels cas/circonstance l'utiliser :

Le diagramme est utilisé pour :

- Comprendre un phénomène, un processus, par exemple, les étapes de dépannage d'un équipement en fonction des symptômes.
- Analyser le défaut, remonter aux causes possibles puis identifier la cause précise.
- Identifier toutes les causes du problème et sélectionner celles qui feront l'objet d'une analyse approfondie pour trouver une solution.
- Il peut être utilisé comme support de communication ou de formation.
- Il peut être considéré comme une base de connaissances.
- Le diagramme 5 M ne fournit pas directement une solution, mais il permet de cadrer correctement le problème.

3.3. Déroulement du diagramme d'Ishikawa :

Étape 1 : Définissez clairement le problème : Place une flèche horizontale pointant vers la question.

Étape 2 : Catégoriser les causes recherchées en grandes familles :

Matière : tout ce qui concerne les entrées de processus.

- Le fournisseur modifie la qualité de l'acier sans avertissement
- L'électricité subit des changements de tension
- Les boulons n'ont plus le même pas...

Matériel : moyens techniques

- La machine ne peut pas usiner aux tolérances requises
- Le camion n'est pas assez grand ou tombe en panne
- Ordinateur ralenti par un virus • Logiciel mal installé
- Défaillance du réseau informatique...

Main-d'œuvre : les opérateurs ne sont pas formés

- Vandalisme
- Manque de communication entre les gens
- Le supérieur hiérarchique ne fait pas bien son travail
- Bas salaires et pas de motivation pour les gens

Milieu : Environnement

- Vague de chaleur causant des dérèglages de la machine
- embouteillages routiers
- Les pluies avant les vendanges mouillent les raisins
- Client fermé pour livraison
- Le partenaire refuse de fournir des informations importantes.

Méthode : conception de produits/processus

- L'entrepôt ne fournit pas assez d'espace de stockage
- Le temps de cuisson est trop long
- Calendriers de livraison mal conçus

Étape 3 : Flèches secondaires :

Ces flèches secondaires correspondent au nombre de familles causales identifiées. Ils doivent être reliés à des flèches horizontales. Chaque flèche identifie une famille de causes potentielles.

Étape 4 : Mini flèches :

Les raisons pour chaque famille sont inscrites sur les petites flèches. Vous devez avoir toutes les causes potentielles.

Étape 5 : Terminer :

Il faut chercher la cause réelle du problème parmi les causes potentielles. Il faut agir sur eux, les corriger en proposant des solutions.

Il est important de bien visualiser cette relation ou une relation causale donnée.

3.4. Diagramme d'Ishikawa :

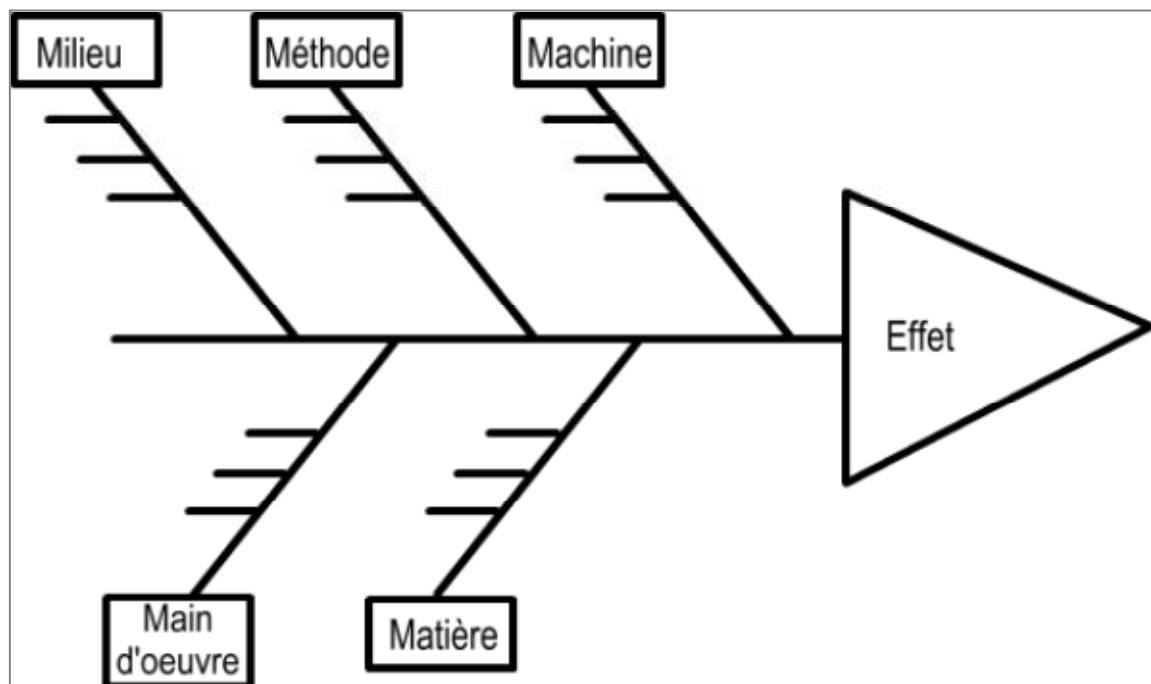


Figure 23. Diagramme d'Ishikawa

3.5. Force/faiblesses du diagramme 5M :

Les avantages de l'outil 5 M sont :

- Identification de cause simple, rapide et mémorable basée sur un travail de groupe.
- Classification et hiérarchie selon les familles et sous-familles (5M ou 7M).
- Représentation graphique claire et facile à lire
- Bâtir un consensus du groupe de travail sur l'importance des causes.

Ses faiblesses sont :

- Manque de **précision** sur certains concepts, notamment la notion de cause racine et les critères de mesure de la corrélation.
- Le degré d'importance des causes est imprécis (ce qui peut être préjudiciable si vous voulez lire un graphique pour voir à quel point chaque cause affecte le résultat).

4. L'historique de L'AMDEC :

L'analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (FMECA) est une méthode d'analyse prédictive de la fiabilité qui identifie systématiquement les défaillances potentielles des équipements, puis estime les risques associés à l'apparition de ces défaillances afin d'initier des actions correctives sur les équipements. Activités (nucléaire civil ; aéronautique, aérospatiale ; grande ingénierie), elle est apparue dans le secteur aéronautique français dans les années 1960 (Concorde, puis Airbus). Introduit dans l'industrie de la production de masse depuis les années 1980 puis intégré dans des projets industriels.

Il est largement utilisé dans l'industrie aujourd'hui, soit pour améliorer les produits existants, soit pour traiter de manière préventive les causes potentielles de nouveaux produits, procédés ou méthodes de production non conformes aux normes.

4.1. L'évolution de l'AMDEC :

Tableau 5. Evolution de l'AMDEC

Année	Domaines d'application de l'AMDEC
1950	La méthode FMECA (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis) est introduite aux États-Unis dans le domaine des armes nucléaires
1960	Cette méthode est mise en application en France sous le nom d' AMDEC pour les programmes spatiaux et aéronautiques
1970	Son application est étendue aux domaines du nucléaire civils, des transports terrestres et des grands travaux.
1980	L' AMDEC est appliquée aux industries de produits et de biens d'équipement de production.

4.2. Le but de l'ADMEC :

L'AMDEC est une technique qui se traduit par un examen critique des conceptions dans le but d'évaluer et d'assurer la sûreté de fonctionnement (sécurité, fiabilité, maintenabilité et disponibilité) des méthodes de production. L'AMDEC doit analyser la conception des moyens de production pour les préparer à l'exploitation, les rendre fiables et maintenables dans l'environnement dans lequel ils évoluent. Pour ce faire, le propriétaire de l'installation doit : il est intrinsèquement fiable ; Possession de pièces de rechange et d'outils appropriés ; Avoir des procédures ou des aides qui minimisent les temps d'arrêt de l'usine en réduisant le temps d'intervention (diagnostic, réparation ou remplacement et remise en service) ; Le personnel (exploitation et maintenance) est formé ; Effectuez une maintenance préventive appropriée pour réduire les risques de pannes.

4.3. Les types d'AMDEC :

Selon que le système analysé est : Il existe cinq types d'AMDEC au total (à partir de 2011)

- Les produits fabriqués par l'entreprise ;
- Le processus de fabrication des produits de l'entreprise ;
- Les moyens de production impliqués dans la fabrication des produits de l'entreprise.
- Le fonctionnement.
- La sécurité des produits et des personnes.

4.3.1. ADMEC du produit :

L'AMDEC-Produit est utilisée pour l'aide à la validation des études de définition d'un nouveau produit fabriqué par l'entreprise.

Il est mis en œuvre pour évaluer les nouveaux produits pour les défauts potentiels et leurs causes. Une évaluation de toutes les lacunes possibles peut, après hiérarchisation, être corrigée par la mise en place d'actions correctives pour la conception et de mesures préventives pour l'industrialisation.

4.3.2. AMDEC-Process :

L'AMDEC-Process est utilisée pour étudier les défauts potentiels d'un produit nouveau ou non, engendrés par le processus de fabrication.

Il est mis en œuvre pour évaluer et hiérarchiser un produit pour les défauts potentiels dont la cause découle de son processus de fabrication. Dans le cas d'un nouveau procédé, AMDEC-Process permettra de l'optimiser dans le but d'éliminer les causes de défauts

pouvant affecter négativement le produit. S'il s'agit d'un procédé existant, AMDEC-Process permettra de l'améliorer.

4.3.3. AMDEC-Moyen de production:

L'AMDEC - Moyen de production, plus souvent appelée AMDEC-Moyen, permet de réaliser l'étude du moyen de production lors de sa conception ou pendant sa phase d'exploitation.

Lors de la conception des méthodes de production, l'exécution de l'AMDEC peut identifier et analyser les risques de défaillance potentiels susceptibles de modifier les performances globales des équipements de production, et les changements de performances peuvent être mesurés par une faible disponibilité des matériaux de production. Dans ce cas, l'analyse est effectuée par rapport aux plans et/ou prototypes des moyens de production

L'objectif est généralement ici de :

- Modifier la conception.
- Lister les pièces de rechange.
- Prévoir la maintenance préventive.

Pour les équipements de production en fonctionnement, la réalisation d'une **AMDEC** permet d'analyser la cause réelle des défaillances qui entraînent des modifications des performances des équipements de production. Cette dégradation des performances se mesure par la faible disponibilité des moyens de production. Dans ce cas, l'analyse est réalisée sur site et comprend des synthèses de pannes, des plans, des schémas...

L'objectif est généralement ici de :

- Connaître l'existant.
- Améliorer.
- Optimiser la maintenance (gamme, procédures, etc).
- Optimiser la conduite (procédures, modes dégradés, etc.).

4.3.4.AMDEC fonctionnel :

Permet l'identification des modes de défaillance ou des causes conduisant à des événements graves à partir d'une analyse fonctionnelle (par conception)

4.3.5.AMDEC Flux :

Permet de prévoir les risques associés aux interruptions du flux de matériel ou d'informations, les temps de réaction ou de correction et les coûts inhérents au retour à la normale.

4.4. Démarche pratique de l'AMDEC :

L'utilisation de l'AMDEC crée un cadre qui doit être complété et équipé. Pour cela, une analyse plus fine de la pertinence des informations est nécessaire. L'équipe AMDEC doit maîtriser la machine et mettre à jour et s'assurer de la validité de toutes les informations utiles à l'étude. Le groupe s'appuie sur le retour d'expérience de tous les opérateurs de tous les services du cycle de fabrication des produits qui peuvent apporter une valeur ajoutée à l'analyse.

La démarche pratique de l'AMDEC se décompose en 4 étapes suivantes :

Etape 1 : initialisation de l'étude qui consiste :

- la définition de la machine à analyser,
- la définition de la phase de fonctionnement,
- la définition des objectifs à atteindre.
- constitution de groupe de travail,
- la définition de planning des réunions,
- la mise au point des supports de travail : (prenons un exemple standard de feuille AMDEC).

Tableau 6. Exemple de feuille d'AMDEC-moyen de production

ANALYSE FONCTIONNELLE		ANALYSE DE DEFAILLANCE					ESTIMATION DE CRITICITE				MESURES
Composante		Fonction	Mode défaillance	Cause	Effet local	Effet système	Gravité	Occurrence	Nom détection	Criticité	Mesures envisagées
Nom	Rep										
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Etape 2 : description fonctionnelle de la machine qui consiste :

- découpage de la machine,
- inventaire des fonctions de service,
- inventaire des fonctions techniques.

Etape 3 : analyse AMDEC qui consiste :

- analyse des mécanismes de défaillances,
- évaluation de la criticité à travers :
 - ✓ la probabilité d'occurrence ou fréquence F,
 - ✓ la gravité des conséquences G,
 - ✓ la probabilité de non-détection N.

La criticité est définie par le produit : **$C=F.G.N$**

- propositions d'actions correctives.

Etape 4 : synthèse de l'étude/décisions qui consiste :

- bilan des travaux,
- décision des actions à engager.

▪ **Les grilles de cotation**

En général, utilisez une grille d'évaluation appropriée à la problème à étudier. La plupart du temps, les différents éléments sont notés de 1 à 4 (jamais de zéro). Cependant, l'expérience peut amener certaines entreprises à utiliser des notations 1 à 4.

Tableau 7. Grille de cotation de la gravité.

Valeurs de G	Gravité
1	Défaillance mineure ne provoquant qu'un arrêt de production faible et aucune dégradation notable (arrêt de production inférieur à 1 heure) Gravité mineure
2	Défaillance moyenne nécessitant une remise en état ou une petite réparation et provoquant (arrêt de production de 1 à 8 heures) Gravité significative
3	Défaillance critique nécessitant un changement du matériel défectueux et provoquant (arrêt de production de 8 à 48 heures) Gravité moyenne
4	Défaillance catastrophique impliquant des problèmes de sécurité et une production non-conforme et provoquant (arrêt de production supérieur à 7 jours) Gravité catastrophique

Tableau 8. Grille de cotation de la Fréquence.

Valeurs de F	Fréquence de la défaillance
1	Défaillance inexistante sur matériel similaire (1 arrêt max. tous les 2 ans) Fréquence très faible
2	Défaillance occasionnelle déjà apparue sur matériel similaire (1 arrêt max. tous les ans) Fréquence faible
3	Défaillance certaine sur ce type de matériel (1 arrêt max. par mois) Fréquence moyenne
4	Défaillance systématique sur ce type de matériel (1 arrêt max. par semaine) Fréquence forte

Tableau 9. Grille de cotation de la probabilité de non-détection

Valeurs de N	Non-détection
1	<p>Signe avant-coureur de la défaillance que l'opérateur pourra éviter par une action préventive ou alerte automatique d'incident</p> <p>Détection évidente</p>
2	<p>Il existe un signe avant-coureur de la défaillance mis il y a un risque que ce signe ne soit pas perçu par l'opérateur</p> <p>Détection possible</p>
3	<p>Le signe avant-coureur de la défaillance n'est pas facilement décelable</p> <p>Détection improbable</p>
4	<p>Il n'existe aucun signe avant-coureur de la défaillance</p> <p>Détection impossible</p>

➤ On évalue la criticité par le produit : **$C = F \times G \times N$**

Plus C est grand, plus le mode de défaillance est critique.

L'indice de criticité permet de hiérarchiser les actions correctives à entreprendre.

Il va de soi que pour des défaillances sévères ($C > 64$), il faut revoir la conception. En revanche, certains des défauts considérés peuvent être ignorés, mais ne sont ni probables ni graves ($C < 18$). Entre les deux actions correctives doivent être proposées. La criticité

peut également être appréciée à partir d'une matrice de criticité ; alors seuls deux paramètres, F et G, interviennent.

4.5. Caractéristique essentielle de l'AMDEC :

L'AMDEC est l'opposé de la conception-réalisation car elle permet d'analyser pourquoi l'équipement conçu peut ne pas fonctionner et l'impact de sa défaillance sur l'équipement de production, les produits fabriqués et la sécurité des personnes et des biens.

L'AMDEC est une méthode d'analyse inductive rigoureuse qui permet d'étudier systématiquement :

Modes de défaillance des méthodes de production (par exemple, perte de fonction, dégradation des performances de la fonction, exécution intempestive de la fonction) ;

Des causes de défaillance générant les modes de défaillance.

Ces causes peuvent faire partie intégrante des moyens de production ou résulter de pressions extérieures.

Les conséquences des défaillances sur les méthodes de production, l'environnement, les produits ou le personnel.

Moyens de détection utilisés pour prévenir et/ou corriger les pannes.

La méthode est appelée induction car son point de départ est de rechercher des événements élémentaires pour en déduire le résultat final. En revanche, la méthode déductive consiste à analyser le résultat final pour trouver ses événements sous-jacents.

L'AMDEC est une méthode de travail en groupe qui associe :

Compétences et méthodes dans le domaine d'études;

Expérience dans les domaines de la maintenance, des méthodes, de la fabrication et de la qualité.

La création de groupes de travail permet un apport "vivant" de connaissances, d'expériences et de bon sens. Elle permet aussi de rencontrer dans un esprit constructif ceux qui ne sont pas enclins à se rencontrer naturellement. La constitution de groupes de travail facilite la mise en relation des différents acteurs dans le travail commun, c'est-à-dire la construction de l'utilisabilité.

4.6. Limitation de l'AMDEC :

Bien que l'AMDEC soit un outil de sûreté de fonctionnement très intéressant, elle n'offre pas une vision croisée des défaillances possibles et de leurs conséquences : si deux défaillances surviennent simultanément dans deux sous-systèmes, quelles sont les

conséquences pour le système global ? Dans ce cas, des recherches supplémentaires sont nécessaires, notamment à l'aide de l'arbre de défaillance.

Par exemple, dans l'aéronautique, les accidents d'avions sont très rarement liés à une seule défaillance ; ils résultent généralement de plusieurs défaillances techniques ou organisationnelles qui se manifestent simultanément.

L'AMDEC ne permet pas de tenir compte des phénomènes dynamiques.

La qualité d'une AMDEC est liée à l'exhaustivité des modes de défaillance identifiés. Celle-ci est fortement dépendante de l'expérience des auteurs de l'étude.

De plus, l'outil AMDEC ne doit pas devenir une fin en soi. Les actions préconisées doivent être mises en œuvre et un suivi de leur efficacité doit être assuré.

Conclusion :

Dans ce chapitre, on a effectué la présentation du diagramme de Pareto, le Diagramme d'Ishikawa 5M (diagramme cause et effets) avec une étude bibliographique détaillée sur l'analyse de mode des défaillances de leurs effets et leurs criticité (AMDEC).

A decorative frame shaped like a horizontal scroll. The left side is a vertical tube with a circular end. The top and bottom edges are slightly curved. The right end is a circular loop. The interior of the scroll is white, and the frame has a grey grid pattern.

Chapitre 4 : Application de l'AMDEC

Introduction :

Lors du dernier chapitre, nous verrons l'application du diagramme de Pareto, les diagrammes d'Ishikawa 5M et l'AMDEC sur le moteur CAT (3508) de la chargeuse Caterpillar 992 G avec le plan d'action.

1. Application de Pareto sur notre projet :

Pour préparer le diagramme Pareto, on les données présentée dans le tableau suivant :

Tableau 10. La durée des pannes du chargeuse 992 G.

Panne	Durée de panne en (j)	% durée d'arrêts	% Cumules
Alarmes au niveau injecteur	67	80,72	80,72
Fuite d'huile	5	6,02	86,74
Fuit d'échappement	3	3,61	90,35
Intervention sur ECM de moteur	3	3,61	93,96
Intervention sur convertisseur de couple	2	2,41	96,37
Intervention sur boîte vitesse	2	2,41	98,78
Bruit anormal coté droit	1	1,20	99,98%
TOTALE	83	99,98%	

- (j) : en jour.
- % durée d'arrêt : Totale / durée du panne en (j)

✓ **Diagramme de Pareto :**

D'après le tableau précède-t-on donne le diagramme suivant :

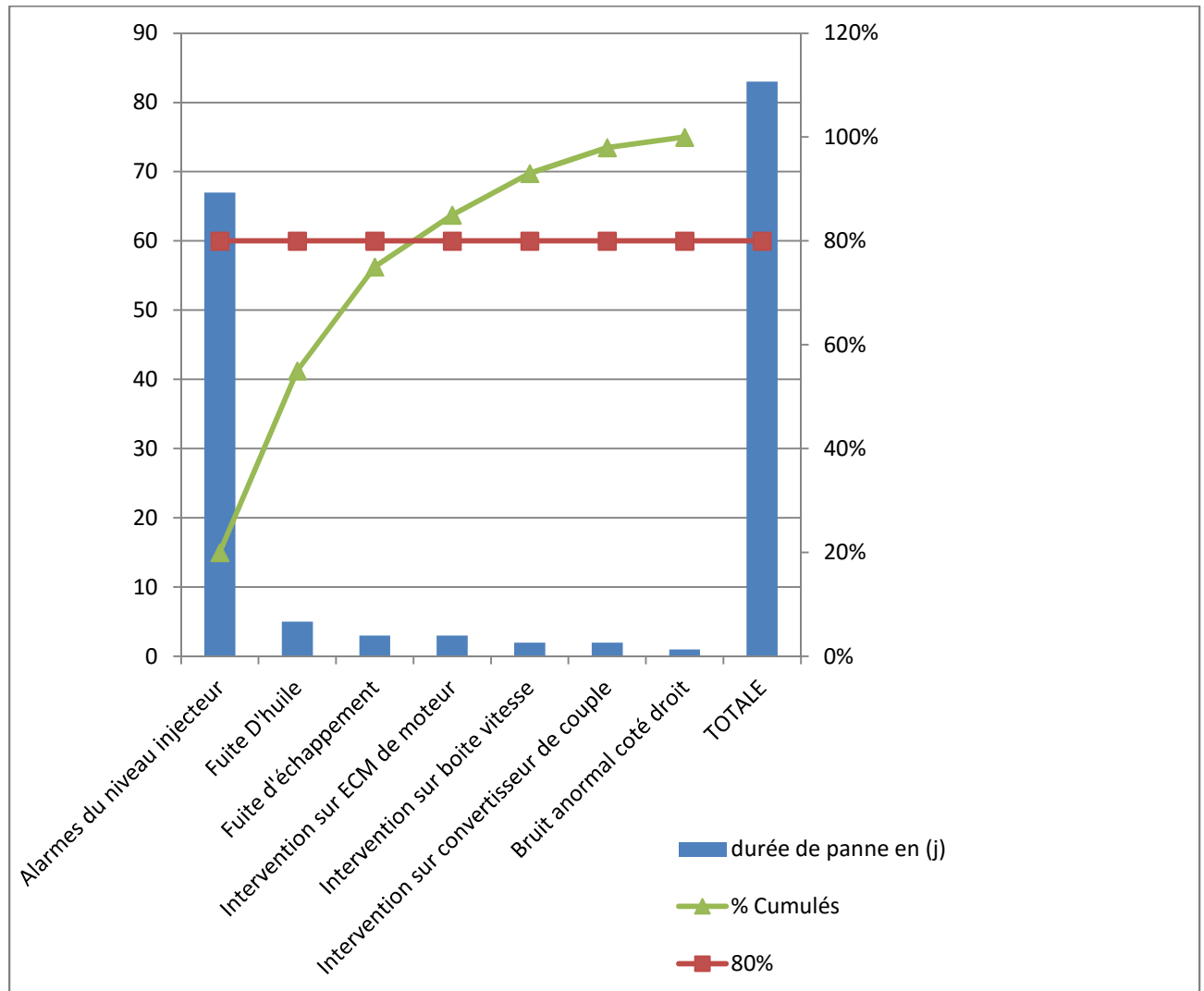


Figure 24. Le diagramme Pareto

On remarque ici que les pannes sur partie moteur (d'Alarme au niveau injecteur) est supérieur a 80% ($80,72 > 80\%$).

Donc nous allons concentrer le Diagramme d'Ishikawa, l'analyse AMDEC sur les pannes du moteur pour élaborer le plan d'action.

2. Application d'Ishikawa sur notre projet :

2.1. Diagramme d'Ishikawa sur l'injecteur :

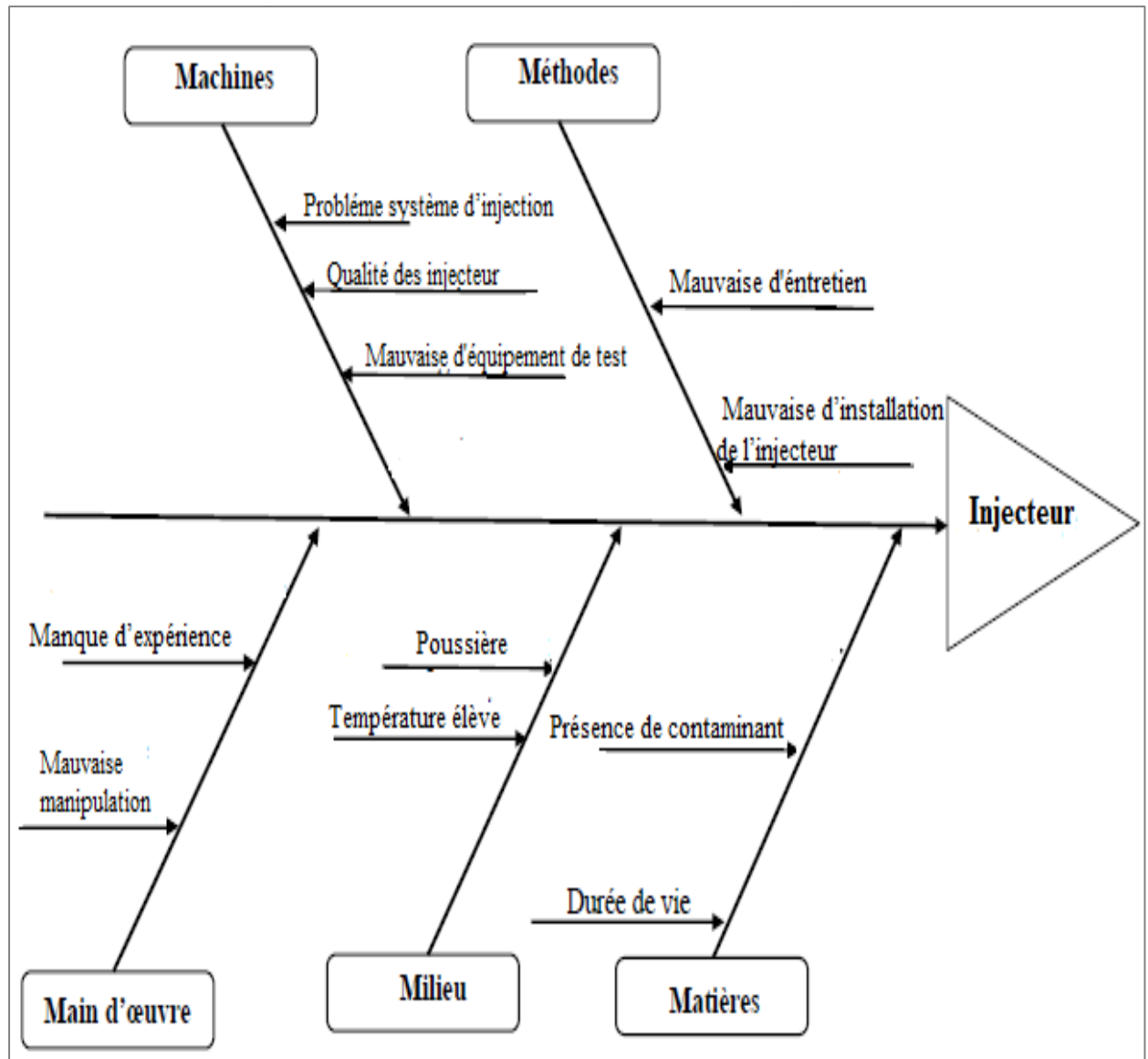


Figure 25. Diagramme d'Ishikawa sur l'injecteur

2.2. Diagramme d'Ishikawa sur fuite d'huile :

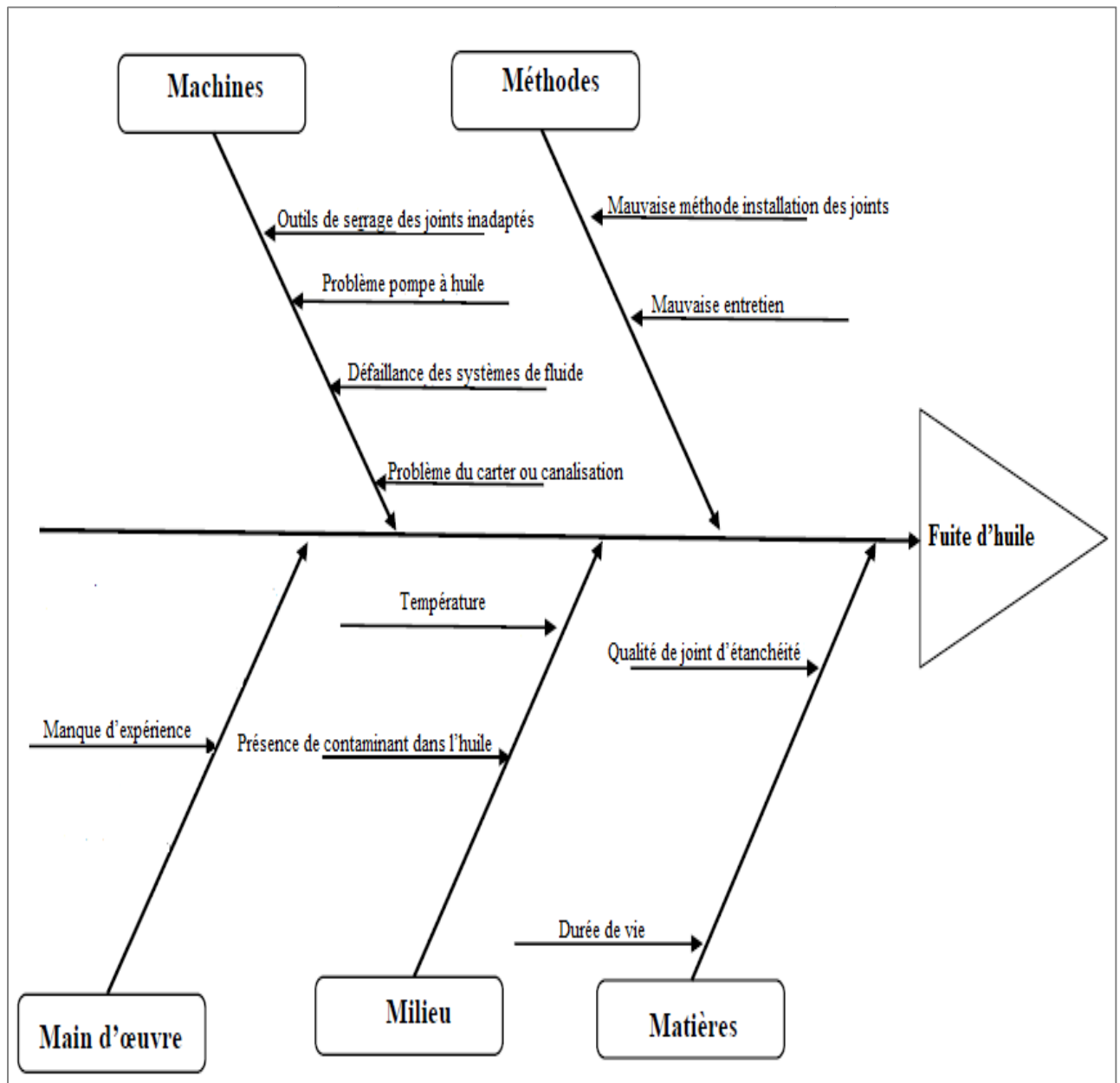


Figure 26. Diagramme d'Ishikawa sur fuite d'huile

2.3. Diagramme d'Ishikawa sur ECM du moteur :

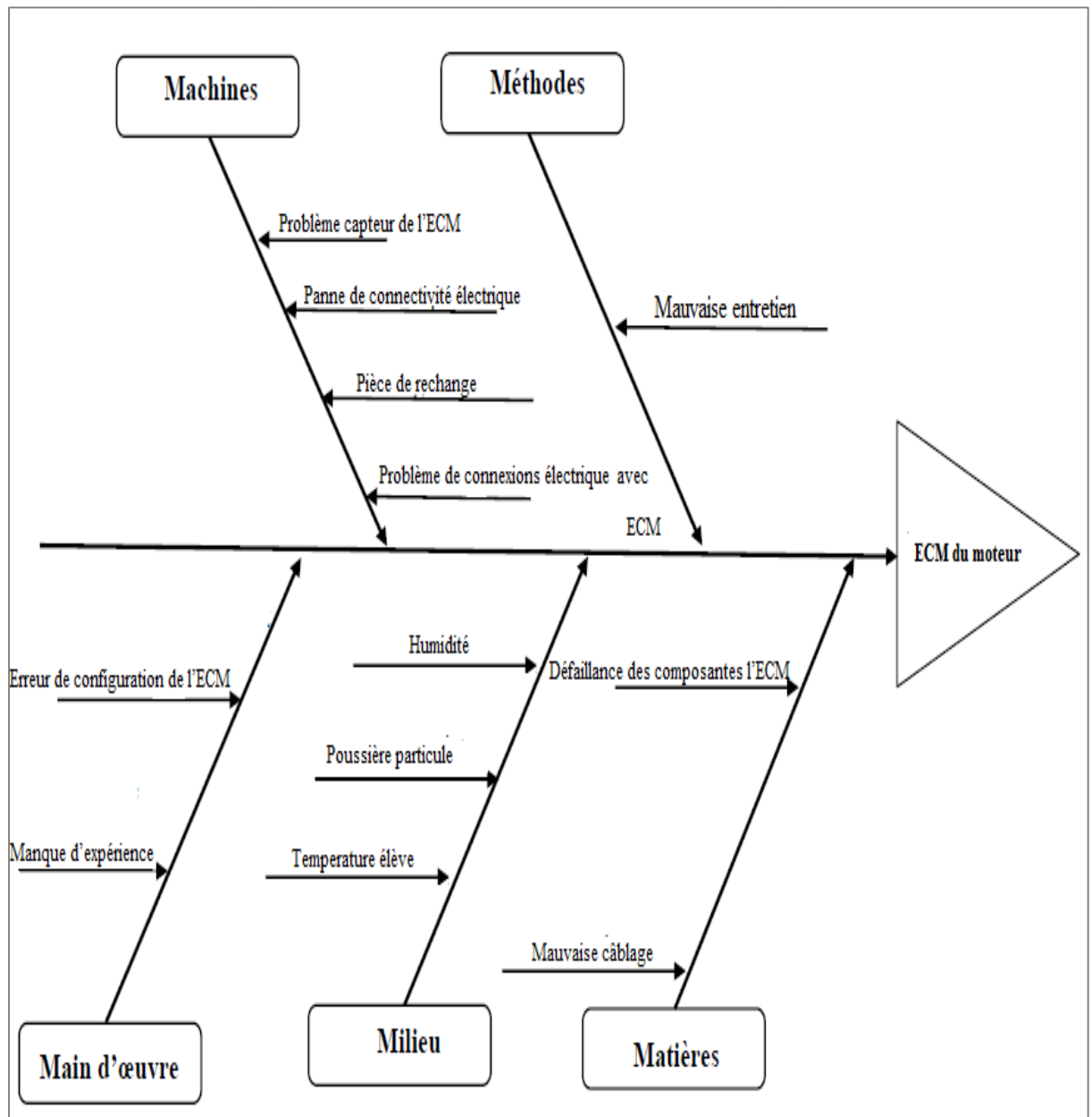


Figure 27. Diagramme d'Ishikawa sur ECM du moteur

2.4. Diagramme d'Ishikawa sur fuite d'échappement :

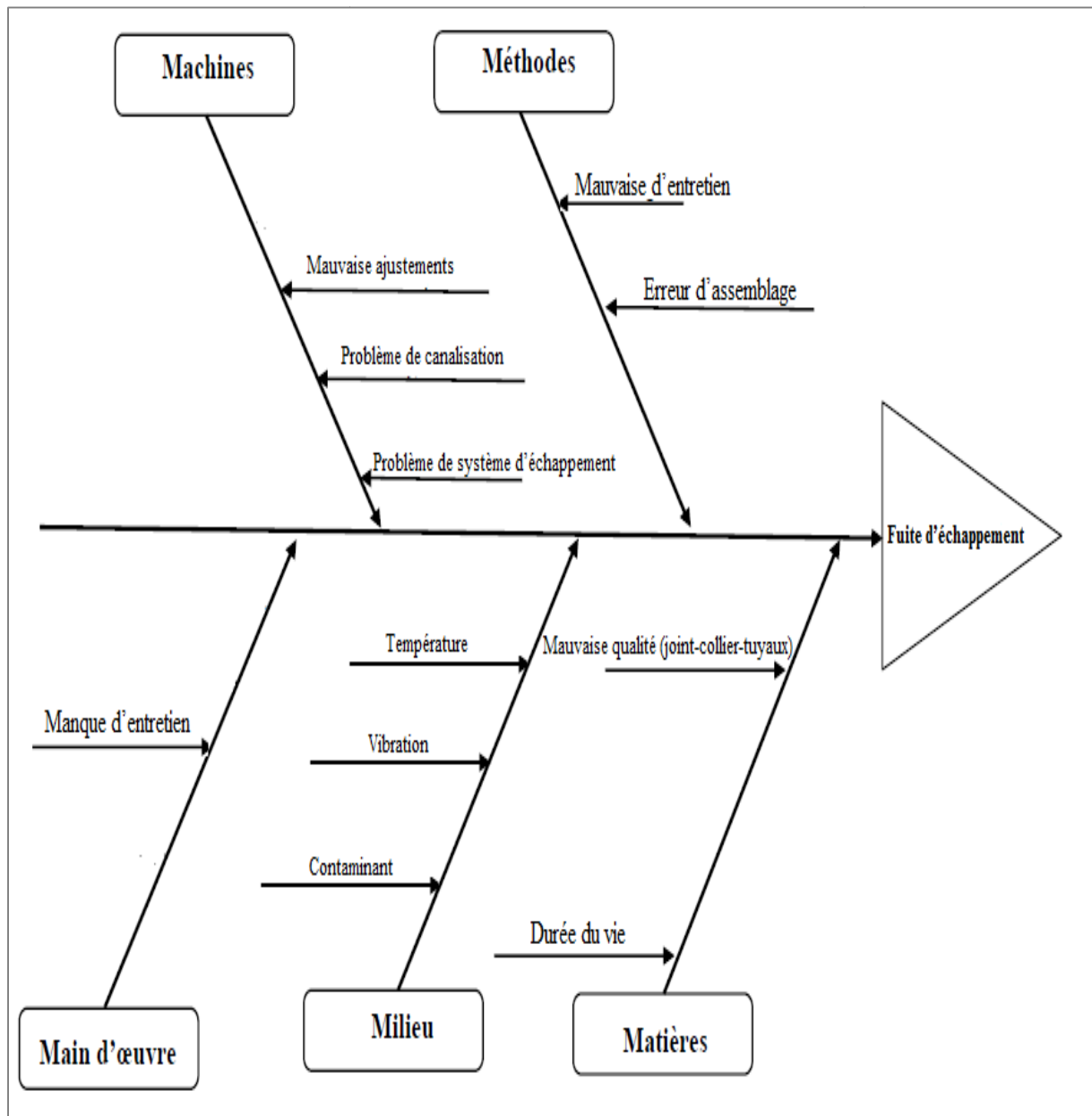


Figure 28. Diagramme d'Ishikawa sur fuite d'échappement

- **Cause liées à la machine** : Le vieillissement des machines, les pannes fréquentes, l'usure et les réglages répétés ont fait des ravages en termes de temps et de main-d'œuvre.
- **Cause liées au travail** : Le manque de motivation, le stress, les conditions de travail sont autant de causes directes de plusieurs problèmes dans l'unité (mauvais rendement, mauvaise ambiance de travail).

- **Cause matières :** La principale source de plusieurs problèmes observés dans la qualité des matières premières
- **Cause liées à la méthode :** Le manque ou l'absence de coordination entre les services au sein de la CPG, les processus non maîtrisés et non standardisés, le manque de respect ou d'application de la gestion de la maintenance sont les principales raisons associées à cette approche.
- **Cause liée à l'environnement :** Il y a deux raisons principales dans cette catégorie, le gâchis (déchets, poussière, matière inutile, etc.) et les conditions de stockage de la matière première (température ambiante).

3. AMDEC :

L'objectif est de déterminer la criticité C pour chaque pièce et de proposer des solutions pour chaque défaillance, basée sur le tableau suivant :

Tableau 11. AMDEC

Machine	Fonction	Mode défaillance	Cause	Effet	G	F	N	C	Type d'action
Moteur CAT (3508)	*Alimentation en carburant *Mélange air- carburant *Régulation de la pression	Alarme au niveau injecteur	Défaut de l'injecteur, encrassement	Perte de Puissance, Dysfonctionnemen t du moteur	4	3	3	36	*Localiser les injecteurs défectueux *changement les injecteurs
	Lubrifier les différentes parties du moteur	Fuite d'huile	Joints usés surpression du système	Réduction de la lubrification, risque de surchauffe	3	2	3	18	*Vérifier le niveau d'huile *Changement les joints d'étanchâtes

	Maintien de la pression d'échappement	Fuite d'échappement	Joint d'échappement défectueux corrosion	Emission novices, réduction de la performance	3	2	3	18	*Vérifier le système d'échappement *Changements les joints d'échappement
	*Sécurité et protection du moteur. *Gestion de performance	Intervention sur ECM du moteur	Défaillance électronique, panne du module de commande du moteur	Perte de contrôle du moteur, performances réduites	3	2	4	24	*Effectuer test diagnostic approfondi sur le module de commande du moteur. *Vérifier la mise a jour de l'ECM
	Fonctionnement normal du moteur	Bruit anormal coté droit	*Pièce défectueuse *mauvais fixation	Perturbation du fonctionnement normal, nuisance sonore	3	1	3	9	Vérifier l'intégration des composantes du coté droit du moteur.

- Si $C \leq 12$ Rien à signaler.
- Si $12 < C \leq 18$ Surveillance accrue à envisager, valeur a la limite da l'acceptable.
- Si $C > 18$ Mise en place d'action permettant de corriger donc d'améliorer le moyen ou l'installation utilisé.

Ce tableau montre les risques des pannes avec les actions :

Tableau 12. Les risques des pannes

Fonction	Risque	Action ou opportunité	Comment	Qui	Quand	Suivi	Observation
Alarme au niveau injecteur	*Dysfonctionnement les injecteurs *Fuite de carburant et dommage le moteur	*Arrêter le moteur. *Appeler sur spécialiser pour diagnostiquer la cause d'alarme.	Classification les injecteurs de rechanges selon le degré d'importance	Chef service et bureau des méthodes		En cour	
Fuite d'huile	*Pert de lubrification *Risque dommage moteur	Localiser la source de fuite et réparation la fuite	On doit faire des contrôles et des entretien régulier sur système d'huile	Technicien de maintenance		En attend	
Fuite d'échappement	*Risque de défaillance du moteur	*Localiser la source de fuite et réparation la fuite et vérifier le compresseur	Tester chaque période la pression pour assurer pas de fuite	Technicien de maintenance		En attend	
Intervention sur ECM de moteur	Pert de puissance et dommage du moteur	Identification la raison de l'intervention et faire test de fonctionnement	Vérifier ECM chaque période pour le bon fonctionnement du moteur	Ingénieur mécanique		En attend	

⇒ En basant sur les toutes d'expériences nous avons sélectionné 18 comme seuil de criticité, donc on doit faire le plan d'action sur les pannes qui sont supérieures ou égales à 18.

4. Plan d'action :

Généralement le plan d'action est utilisé pour organiser et structurer les actions à entreprendre afin de résoudre des problèmes spécifiques avec les équipes responsables de chaque étape pour démentir et éviter les pannes.

➤ Alerte au niveau injecteur :

- Formation aux techniciens responsables des injecteurs pour posséder les compétences nécessaires techniques pour comprendre le système d'injection et gérer les alertes.
- Effectuer le test diagnostique et contrôle régulier des injecteurs.
- Effectuer une maintenance préventive régulière des injecteurs, chaque trimestre (3 mois) contrôler le système d'injection.

➤ Fuite d'huile :

- Inspecter régulièrement de vérification d'huile et les joints d'étanchéité.
- Formation aux techniciens sur les bonnes pratiques de la gestion des fuites d'huile pour détecter les fuites et remplacer les joints.
- Effectuer une maintenance préventive systématique chaque semestre (6 mois) sur les joints d'étanchéité. (remplacement périodique des joints)

➤ Fuite d'échappement :

- Vérifier régulièrement les joints d'échappement.
- Formation adéquate aux techniciens de système d'échappement pour détecter facilement les fuites.
- Effectuer une maintenance préventive systématique sur le système d'échappement chaque année (1 an), Contrôler les supports de fixations et les joints.

➤ Intervention sur ECM (Engine Control Module) de moteur :

- Effectuer une formation spécialisée aux techniciens sur les systèmes électroniques de contrôle du moteur pour savoir les procédures de diagnostic et de programmation.
- Effectuer le test diagnostique et contrôle régulièrement ECM.

- Assurer une maintenance préventive systématique chaque année (1 ans) sur ECM pour la vérification des paramètres de fonctionnement, la mise à jour des logiciels et la sauvegarde des données.

Conclusion

A la fin de ce mémoire on a parvenu le diagramme de Pareto, les Diagramme d'Ishikawa de chaque panne. Finalement on réaliser le tableau AMDEC sur le moteur CAT (3508) avec le plan d'action.

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce projet a été consacré à l'application AMDEC sur moteur CAT (3505) de la chargeuse Caterpillar 992 G.

Cette étude a été structurée autour de trois chapitres principaux :

Le premier a été consacré à la présentation de la société d'accueil et les différentes composantes de la chargeuse Caterpillar 992G.

Ensuite, dans le deuxième chapitre, l'objectif été l'identification de la moteur CAT (3508) et la collection des donnée des pannes de la chargeuse Caterpillar 992G.

Le troisième chapitre est focalisé sur la présentation du diagramme de Pareto, les diagrammes d'Ishikawa 5M et une étude bibliographique détaille sur l'analyse de mode des défaillances de leurs effets et leurs criticité (AMDEC).

Et enfin le but du dernier chapitre est l'application du diagramme de Pareto, les schémas de diagramme d'Ishikawa 5M de chaque panne. . Finalement on réaliser le tableau AMDEC sur le moteur CAT (3508) avec le plan d'action.

Nous tenons à mentionner que ce travail était l'occasion de revoir et de profiter des connaissances théoriques et pratiques acquises durant notre cursus universitaire. Aussi il nous a offert la chance d'approfondir nos connaissances de gestion de la maintenance. De plus ce projet nous a permis d'enrichir notre esprit de groupe et nos capacités d'interagir avec l'environnement professionnel.

Dans le cadre de ce projet, nous avons concevoir l'application AMDEC sur moteur CAT (3508) de la chargeuse Caterpillar 992G et la planification de plan d'action. Ce système est basé sur l'historique de panne.

Comme perspective, on vise le plan et le suivi de plan d'action proposé.

Réfirance Bibliographie

[1] Documents de transmissions de la chargeuse CATERPILLAR 992G [3, 4, 5, 6,7]

Bernard MECHIN_ Documentation de la fonction maintenance-article 10 janv. 2004

Michel RIDOUX_AMDEC – Moyen-Technique de l'ingénieur, AG4220, 07/ 1999.

Jean BUFFERNE_ Utilisation de l'AMDEC en maintenance. Livre : Le guide de la TPM - total productive maintenance. Edité par Éd. d'Organisation. Paris - 2006

Josef KELADA_L'AMDEC. École des Hautes Études Commerciales
Centre d'études en qualité totale 1998.

Mrs BILEL MRAIDI _ Tableau d'historique (ingénieur de société)

[8, 9, 10, 13, 15, 16, 17, 18,19] SIS2.0 .CAT.com (Accès de la société)

Figure [1] <https://www.google.com/search?q=cpg+gafsa>

Figure [2] <https://www.google.com/search?q=chargeuse+992g&sxsrf>

Figure [11] <https://www.google.com/search?q=joint+de+culasse+chargeuse>.

Figure [12] <https://www.google.com/search?q=carter+moteur>.

Figure [14] <https://www.google.com/search?q=injecteur+diesel+chargeuse+992>.

Table des matières

Introduction générale.....	2
Chapitre 1 : Présentation de l'entreprise et la chargeuse Caterpillar 992G	3
Introduction :	4
1. Présentation de société d'accueil :	4
1.1.La compagne des phosphates de Gafsa (CPG).....	4
1.2. Présentation de la direction de la maintenance et du matériel (DMM).....	5
2. La chargeuse CATREPIILLAR 992G.....	5
2.1.Chaine cinématique	6
2.2. Caractéristiques techniques	6
2.3. Convertisseur de couple	7
2.3.1. Fonction.....	8
2.3.2. Principe de fonctionnement.....	8
2.4.Boite de vitesse de la chargeuse	9
2.4.1.Fonction.....	10
2.4.2.Principe de fonctionnement.....	10
2.5.Moteur CAT (3508)	10
2.5.1. Principe est fonctionnement :	11
3. Pose du problème et solution proposée	11
3.1. Problématique.....	11
3.2.Solution proposée.....	12
Conclusion.....	12
Chapitre 2 : Identification de Moteur CAT 3508 et Collection du donnée	13
Introduction	14
1. Les pièces de base du moteur CAT (3508) :	14
1.1. Les pièces Fixe :	14
1.1.1. Le bloc moteur :	14

1.1.2. Cylindre :	15
1.1.3. Chemise de cylindre :	15
1.1.4. Culasse :	15
1.1.5. Le joint de culasse :	16
1.1.6. Carter :	17
1.1.7. Turbocompresseur :	17
1.1.8. Injecteur :	18
1.2. Les pièces mobiles :	19
1.2.1. Le piston :	19
1.2.2. Bielle :	19
1.2.3. L'arbre moteur :	20
1.2.4. L'arbre à cames :	20
1.2.5. Les soupapes :	22
1.2.6. Les culbuteurs :	23
2. Planification de la maintenance :	23
2.1. Maintenance :	23
2.1.1. Définition :	23
2.1.2. Rôle de maintenance :	24
2.2. Stratégie de la maintenance :	24
2.2.1. La notion de la maintenance :	24
2.2.2. Fonction requise :	25
2.2.2.1. Dégradation :	25
2.2.2.2. Panne :	25
2.2.2.3. La conception de la maintenance :	25
2.3. Méthode de la maintenance :	26
2.4. La maintenance corrective	26
2.5. Maintenance préventive	27

2.5.1.La maintenance préventive systématique :	28
2.5.2.La maintenance préventive conditionnelle :	28
2.6.La maintenance d'amélioration :	28
3. Collection du donnée des pannes de la chargeuse 992G.....	28
3.1. Historique des pannes 2019 :	28
3.2. Historique des pannes 2020 :	30
Conclusion :	31
Chapitre 3 : Les outils d'analyse	32
Introduction :	33
1. Loi de 80/20 :	33
2. L'intérêt du diagramme de Pareto :	33
3. Diagramme d'Ishikawa 5M (diagramme cause /effet):.....	34
3.1. Présentation :	34
3.2.Dans quels cas/circonstance l'utiliser :	35
3.3. Déroulement du diagramme d'Ishikawa :	35
3.4. Diagramme d'Ishikawa :	37
3.5. Force/faiblesses du diagramme 5M :	37
4. L'historique de L'AMDEC :	38
4.1. L'évolution de l'AMDEC :	38
4.2.Le but de l'ADMEC :	39
4.3. Les types d'AMDEC :	39
4.3.1. ADMEC du produit :	39
4.3.2. AMDEC-Process :	39
4.3.3. AMDEC-Moyen de production:.....	40
4.3.4.AMDEC fonctionnel :	40
4.3.5.AMDEC Flux :	40
4.4. Démarche pratique de l'AMDEC :	41

4.5. Caractéristique essentielle de l'AMDEC :	46
4.6. Limitation de l'AMDEC :	46
Conclusion :	47
Chapitre 4 : Application de l'AMDEC	48
Introduction	49
1. Application de Pareto sur notre projet :	49
2. Application d'Ishikawa sur notre projet :	51
2.1. Diagramme d'Ishikawa sur l'injecteur :	51
2.2. Diagramme d'Ishikawa sur fuite d'huile :	52
2.3. Diagramme d'Ishikawa sur ECM du moteur :	53
2.4. Diagramme d'Ishikawa sur fuite d'échappement :	54
3. AMDEC :	56
4. Plan d'action :	59
Conclusion.....	60
Conclusion générale	61
Référence Bibliographie	62