

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES



Faculté de Technologie
Département Génie Mécanique

Mémoire de Master

En vue de l'obtention du diplôme de MASTER en :

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Construction Mécanique

Thème :

***Résolution du problème de la fumée noire ou grise au collecteur
d'échappement d'un moteur diesel à deux temps d'une locomotive GM***

Présenté par :

ARAB Abdesalem

BENNECEUR Zakaria

Promoteur :

Dr. SIGUERDJIDJENE Hakim

Promotion 2021- 2022

Résumé

Dans ce projet de fin d'étude (PFE) nous abordons l'étude de la résolution de la problématique de l'émission de la fumée noire ou grise dans le collecteur d'échappement du moteur diesel à deux temps de la locomotive GM(GT36), en basant sur l'utilisation des deux méthodes d'analyse d'Ishikawa (causes/effets) M5 et M7, dont le but déterminer les causes et les effets de ce problème par établissement du Diagramme d'Ishikawa. En précédant à la description de la locomotive GM (GT 36) et à l'illustration bien détaillée de toutes les organes et pièces de son moteur diesel à deux temps 645, tout en clarifiant le fonctionnement de chacune de ses parties, et en les analysant pour faciliter le classement de toutes les causes qui provoquent ce problème.

Mots clé : *Locomotive GT36, Emission de la fumée noire et grise, méthode Ishikawa M7, moteur à deux temps, causes- effets.*

Anglais:

In this end of study project (PFE) we approach the study of the resolution of the problem of the emission of black or gray smoke in the exhaust manifold of the two-stroke diesel engine of the GM Locomotive (GT36), based on the two methods of Ishikawa analysis (cause/effect) M5 and M7, the purpose of which is to determine the cause and effect of this problem by establishing the Ishikawa diagram .By preceding to the description of the GM locomotive (GT36) and to the well-detailed illustration of all the organs and parts of its 645 two-stroke diesel engine ,while clarifying the operation of each of its parts, and analyzing them to help classify all the causes that cause this problem.

Keywords: *GT36 Locomotive ,emission of black and gray smoke ,Ishikawa M7 method ,two stroke engine ,cause and effect.*

ملخص:

في نهاية مشروع الدراسة (PFE) ، نقترح من دراسة حل مشكلة انبعاث الدخان الأسود أو الرمادي في مشعب العادم لمحرك الديزل ثنائي الأشواط للقاطرة المعدلة وراثيًا (GT36) ، بناءً على الاستخدام من طريقتين لتحليل إيشيكوا (السبب / النتيجة) M5 و M7 ، والغرض منها هو تحديد أسباب وتأثيرات هذه المشكلة من خلال إنشاء مخطط إيشيكوا. قبل وصف القاطرة المعدلة وراثيًا (GT 36) والتوضيح المفصل جيدًا لجميع أعضاء وأجزاء محرك الديزل ثنائي الأشواط 645 ، مع توضيح تشغيل كل جزء من أجزائه ، وتحليلها للمساعدة صنف جميع الأسباب التي تسبب هذه المشكلة.

الكلمات المفتاحية: قاطرة GT36 ، انبعاث دخان أسود ورمادي ، طريقة إيشيكوا M7 ، محرك ثنائي الأشواط ، السبب والنتيجة.

Remerciement

Nous rendons grâce à Dieu pour sa bénédiction tout au long de notre parcours universitaire jusqu'à l'aboutissement de ce projet de fin d'études.

*Toutes nos infinies gratitudees à notre promoteur, **Dr. Hakim SIGUEROJIDJENE** pour son encadrement, son aide et ses conseils précieux.*

*Nos vifs remerciements vont aussi à l'ensemble des employés de l'entreprise BPML Rouïba pour leur collaboration, spécialement à Mr **LECHEHEB Brahim** pour son orientation, pour tous les informations et moyens qui a mis à notre disposition durant ce travail.*

Nous remercions également les membres des jurys pour l'effort qu'ils feront dans le but d'examiner ce travail.

Je tiens à remercier vivement toutes les personnes, qui de près ou de loin, se sont impliquées dans la réalisation de ce projet, tant par leur soutien opérationnel, que professionnel.

Sans oublier nos parents qui se sont sacrifié jusqu'aujourd'hui, aussi leurs encouragements incessants tout le long de notre parcours.

Dédicasse

Je dédie ce modeste travail à la lumière de ma vie, au cœur le plus tendre et le plus doux, à celle qui s'est tellement sacrifiée pour me voir toujours meilleur ma très chère mère

A l'être le plus cher à mon cœur, à celui qui m'a toujours guidée par ses conseils et qui m'a encouragée à poursuivre mes études Mon père.

*A mes frères et mes grands-parents toute ma famille. A mon binôme **BENNESEUR ZAKARIA** et Tous mes camarades compagnons de ma joie et de ma misère.*

ARAB ABDESALEM

Dédicasse

Je dédie ce mémoire a mon chère père et à ma chère mère, en témoignage de leur gratitude de leurs dévouement, de leurs soutien permanent durant toutes mes années d'études, leur sacrifices illimités leur réconforts moral, ils ont consenti tant d'effort pour mon éducation, mon instruction et pour me voir atteindre ce but, pour tout cela et pour ce qui ne peut être dite, mes affections sans limite

A ma grande sœur et mon grand frère ceux qui ont aidé à réaliser ce modeste travail et pour leur encouragements.

A mon chère binôme Arab Abdeslam et Ca petit famille.

BENNECEURE Zakaria

Table des matières

Introduction Générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I : Présentation de BPML

I.1. Introduction	3
I.2. Historique	3
I.3. Présentation de la Base	4
I.3.1. Fiche Technique de la BPML Rouïba Alger.....	4
I.4. Description des activités de la BPML.....	6
I.4.1. Activités principale et Attribution.....	6
I.4.2. Parc matériel en charge.....	7
I.4.3. Charges annuelles	8
I.4.4. Intervention sur le matériel	8
I.4.5. Activités annexes	9
I.4.6. Les missions de la BPML Rouïb.....	9
I.4.7. Attributions de la BPM Rouïba	9
I.5. Organigramme de la BPML Rouïba.....	10
I.5.1. Département maintenance des locomotives	10
I.5.1.1. Division maintenance caisse de locomotives et petite chaudronnerie.....	11
I.5.1.2. Division montage et démontage des sous caisses des locomotives et grandes chaudronneries.....	11
I.5.2. Département Logistique	11
I.5.2.1. Division approvisionnements :.....	12
I.5.2.2. Division patrimoine et moyens de production :	12
I.5.2.3. Division des inventaires :	12
I.5.3. Département production des organes et pièces :.....	13
I.5.3.1. Division production de composantes mécaniques :	13
I.5.3.2. Division production de composantes électriques :.....	13

I.5.3.3. Division de production machines tournantes et tour à fosse :.....	14
I.5.4. Département Ingénierie :.....	14
I.5.4.1. Division études et développement :	15
I.5.4.2. Division Statistiques et Procédures :.....	15
I.5.4.3. Division Qualité :	16
I.5.5. Département personnel et formation :.....	16
I.5.5.1. Division gestion et personnel :.....	16
I.5.5.2. Division formation :	17
I.5.6. Division finances et comptabilité :.....	17
I.5.7. Division hygiène et sécurité :	17
I.5.8. Division juridique :.....	17

Chapitre II : Présentation des locomotives GM (GT 36) et du moteur diesel à deux temps

II.1. Introduction	19
II.2. Fonctionnement de la locomotive GM(GT36).....	19
II.3. Introduction sur le moteur diesel a deux temps de la locomotive	20
II.3.1. Fonctionnement du moteur diesel a deux temps de la locomotive GM(GT36).....	21
II.3.2. Cycles de fonctionnement du moteur diesel de la locomotive GM(GT36)	22
II.3.2.1. Moteur à deux temps – Construction	22
II.3.2.2. Moteur à deux temps – Balayage (début du processus).....	23
II.3.2.3. Moteur à deux temps – Balayage (fin du processus)	23
II.3.2.4. Moteur à deux temps – Compression.....	24
II.3.2.5. Moteur à deux temps –Injection.....	24
II.3.2.6. Moteur à deux temps –Combustion	24
II.3.2.7. Moteur à deux temps –Échappement.....	25
II.3.2.8. Moteur à deux temps –Conclusion	25
II.4. Organes du moteur diesel à deux temps de la locomotive GM (GT36).....	26
II.4. 1. Ensemble de puissance	26
II.4.1.1. Piston et segments.....	27
II.4.1.2. Porte-piston et Rondelle de butée	27

II.4.1.3. Bielle	27
II.4.1.4. Chemise de cylindre.....	27
II.4.1.5. Culasse	28
II.4.1.6. Mécanisme de culbuteur	28
II.4.2. Vilebrequin	28
II.4.2.1. Paliers de vilebrequin	29
II.4.2.2. Arceaux de butée	29
II.4.3. Distribution de l'équipement accessoire.....	30
II.4.4. Couronne dentée et disque d'accouplement	31
II.4.5. Carters d'huile et de moteur	31
II.4.5.1. Carters de moteur	31
II.4.5.2. Carters d'huile	32
II.5. Systèmes du moteur diesel à deux temps de la locomotive GM (GT36).....	32
II.5.1. Systèmes d'admission d'air et d'échappement.....	32
II.5.1.1. Turbocompresseur	32
II.5.1.2. Collecteur d'échappement	33
II.5.2. Systèmes de refroidissement.....	34
II.5.2.1. Température d'eau du moteur	34
II.5.2.2. Liquide de refroidissement du moteur	34
II.5.2.3. Tuyauterie du système de refroidissement	35
II.5.2.4. Post-Refroidisseur	35
II.5.2.5. Pompes à eau	35
II.5.3. Systèmes d'alimentation	36
II.5.3.1. Injecteur	37
II.5.3.2. Filtre à combustible	38
II.5.4. Commandes du moteur	38
II.5.4.1. Régulateur	38
II.5.4.2. Compensation de régulateur	39
II.5.4.3. Dispositif d'arrêt du moteur	40
II.5.5. Système EMDEC.	40
II.5.5.1. Module de contrôle électronique	40
II.5.5.2. Injecteur électronique (EUI)	40

II.5.5.3. Détecteurs	41
II.6. Circuit du moteur diesel à deux temps de la locomotive GM (GT 36)	41
II.6.1. Circuit de démarrage	41
II.6.1.1. Démarreur électrique	42
II.6.2. Circuit de graissage	42
II.6.2.1. Tubulure de graissage principale et de refroidissement de piston	43
II.6.2.2. Clapet de décharge	43
II.6.2.3. Tuyau de refroidissement des pistons	44
II.6.2.4. Vérification de la viscosité d'huile	44
II.6.2.5. Changement d'huile	44
II.6.2.6. Carter des crépines d'huile	44
II.6.2.7. Séparateur d'huile	45
II.6.2.8. Pompe principale et pompe de refroidissement des pistons	45
II.6.2.9. Pompe de reprise	45
II.7. Conclusion.....	46

Chapitre III : Les méthodes d'analyse et de résolution de problèmes

III.1. Introduction.....	48
III.2. Méthodes d'analyse et de résolution de problèmes.....	48
III.2.1. Méthode 8D	48
III.2.2. Méthode PDCA	49
III.2.3. Méthode DMAIC.....	49
III.2.4. Méthode QRQC (Quick Réponse Qualité Control).....	49
III.2.5. Méthode CARRE D'AS	50
III.2.6. Méthode des 5 Pourquoi	50
III.2.7. Méthode QQQQCP.....	51
III.2.8. Graphique de Yamazumi	51
III.2.9. Check-List	52
III.2.10. Diagramme d'Ishikawa	52
III.3. Diagramme d'Ishikawa.....	53

III.3.1. Introduction	53
III.3.2. Diagrammes d'Ishikawa des 5 M	53
III.3.3. Diagrammes d'Ishikawa des 7M	54
III.3.4 Métrologie (étape) de construction d'un diagramme d'Ishikawa.....	55
III.4. Conclusion.....	57

Chapitre IV: Cas d'application sur le moteur diesel à deux temps d'un locomotive GM(GT36)

IV.1. Introduction.....	59
IV.2. Classification des Pannes (défaillances) des organes des moteurs diésel de locomotive GM (GT36).....	59
IV.3. Analyse du problème de la fumée noire ou grise au collecteur d'échappement d'un moteur diesel à deux temps d'une locomotive GM (GT36).....	62
IV.3.1. Application des méthodes d'ISHIKAWA 5M et 7 M.....	62
IV.3.1.1. Introduction	62
IV.3.1.2. Brainstorming	62
IV.3.1.3. Classification des causes possibles en cinq familles (5M).....	63
IV.3.1.4 classification des causes et établissement du Diagramme d'Ishikawa (7M).....	64
IV.3.1.4.1. Diagramme d'Ishikawa 7M.....	65
IV.3.1.5. Analyse des résultats du diagramme d'ISHIKAWA 7M	66
IV.4. Interprétation des résultats.....	70
IV.4.1. Détection de problème.....	71
IV.4.2. Méthode d'entretien de l'injecteur	72
IV.4.2.1.INJECTEUR MÉCANIQUE (MUI)	72
IV.4.2.2.ENTRETIEN	74
IV.4.2.3. ENTRETIEN DES INJECTEURS MUI	75
IV .4.2.4. APPAREIL D'ESSAI D'INJECTEUR MUI	75
IV.4.2.5. MISE EN PLACE DE L'APPAREIL D'ESSAI	76
IV.4.2.6. ESSAIS D'INJECTEUR MUI	76
IV.4.2.7.ESSAI DE RETENUE DE PRESSION ET FUITE	77
IV.4.2.8.LIBERTÉ DE DÉPLACEMENT DE LA CRÉMAILLÈRE	78

IV.4.2.9.GRIPPAGE DU PLONGEUR	78
IV.4.2.10.REMPLACEMENT DES FILTRES D'INJECTEUR MUI	78
IV.4.2.11.ENTREPOSAGE DES INJECTEURS MUI.....	78
IV.4.3.TRINGLERIE D'INJECTEUR.....	79
IV.4.3.1.DESCRPTION	79
IV.4.3.2.ENTRETIEN	79
IV.4.3.3.RÉGLAGES DES CRÉMAILLÈRES D'INJECTEUR	79
IV.4.4. Solution	82
IV.4.5. Conclusion.....	82
Conclusion generale	83

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1 : Locomotive GT 36 (060 DS07).....	4
Figure I.2 : Fiche technique de la BPML Rouïba.....	5
Figure I.3 : Cycle d'entretien.....	7

Chapitre II

Figure II.1 : Moteur à deux temps - Construction.....	22
Figure II.2 : Balayage (début du processus)	23
Figure II.3 : Balayage (fin du processus).....	23
Figure II.4 : Compression.....	24
Figure II.5 : Injection.....	24
Figure II.6 : Course de combustion.....	24
Figure II.7: Échappement	25
Figure II.8 : Ensemble de puissance démonté.....	26
Figure II.9 : Vilebrequin	29
Figure II.10 : Arceaux de butée de vilebrequin	29
Figure II.11 : Distribution type de l'équipement accessoire (8, 12 et 16 cylindres).....	30
Figure II.12 : Carters de moteur	31
Figure II.13 : Carters d'huile	32
Figure II.14 : Turbocompresseur	33
Figure II.15 : Collecteur d'échappement	34
Figure II.16 : Schéma du système de refroidissement.....	36
Figure II.17 : Coupe de l'injecteur MUI	37

Figure II.18 : Régulateur électro-hydraulique	30
Figure II.19 : Démarreur électrique	42
Figure II.20 : Circuit de graissage évéé	43

Chapitr III

Figure III.1 : Schématisation du procédé	50
Figure III.2 : Graphique de Yamazumi	52
Figure III.3 : Diagramme d'Ishikawa	53
Figure III.4 : Diagramme d'Ishikawa ou diagramme des 5M	56
Figure III.5 : Diagramme d'Ishikawa ou diagramme des 7M	56

Chapitre IV

Figure IV.1 : Diagramme d'ISHIKAWA 7M.....	65
Figure IV.2 : Coupe de l'injecteur MUI.....	72
Figure IV.3 : Écoulement du combustible dans l'injecteur MUI.....	73
Figure IV.4 : Dosage de combustible.....	73
Figure IV.5 : Appareil d'essai d'injecteur MUI.....	76
Figure IV.6 : Orientation de la crémaillère d'injecteur MUI.....	80
Figure IV.7 : Jauge de crémaillère d'injecteur MUI.....	80
Figure IV.8 : Vérification de la jauge de crémaillère d'injecteur MUI.....	82

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1 : Intervention sur le matériel par ans.....	18
---	----

Chapitre IV

Tableau. IV.1.Desiniation des incidents et les causes et remède.....	61
--	----

INTRODUCTION GENERAL

Avec le progrès scientifique et technologique d'aujourd'hui les locomotives sont devenues parmi les moyens de transport les plus utilisés dans le monde. Les ateliers de la base principale Rouïba assurant l'exploitation, l'entretien et la maintenance des locomotives, Ils ont pour mission de veiller à la bonne tenue du parc locomotives, qui nécessitent un suivi minutieux afin d'assurer leur fonctionnement dans les bonnes conditions et par la suite leur permettre d'atteindre les performances requises.

Ces locomotives sont fabriquées d'une manière scientifique complexe, portent des moteurs diesel à deux temps qui produisent une grande puissance. Mais parfois des dysfonctionnements surviennent dans ces moteurs, Parmi les pannes les plus répandues du moteur diesel à deux temps de locomotive GM (GT36) le dégagement de la fumée noire et grise c'est ce que nous allons traiter dans ce travail.

Nous avons commencé notre travail par un premier chapitre dans lequel nous avons présenté la base principale de maintenance Rouïba et nous avons décrit sa mission. Le second chapitre est consacré à la description des locomotives GM(GT36) et du moteur diesel à deux temps avec toutes ses composantes principales et auxiliaires, ainsi que son principe de fonctionnement. Dans le troisième chapitre on a présenté les différentes méthodes d'analyse et de résolution de problèmes.

Le quatrième chapitre représente la partie d'application et de résolution du problème posé. A cet effet, nous avons procédé à l'analyse et au classement des causes de la provocation de la fumée noire et grise (effet) du moteur diesel à deux temps de locomotive GM (GT 36) par l'utilisation de la méthode d'Ishikawa M5 et M7. En résolvant le problème posé et en remédiant le bon fonctionnement du moteur. En fin, nous terminons notre travail par une conclusion générale.

Chapitre I

Présentation de BPML

Chapitre I

Présentation de BPML

I. 1. Introduction

La société nationale des transports ferroviaire (SNTF) joue un rôle primordial dans le transport terrestre en Algérie, sa mission principale est d'assurer le transport des voyageurs et de la marchandise sur le réseau national, ce réseau est divisé en quatre directions régionales ferroviaire (DRF Alger, DRF Oran, DRF Annaba et DRF Constantine; tous en assurant l'exploitation, l'entretien et la maintenance du matériels utiliser dans ces ateliers spécialisés dans le domaine ferroviaire, qui sont BPML, AMF Mohammedia, AMF Sidi bel Abbas et AMF Constantine.

I. 2. Historique

L'ancien atelier de maintenance de HAMMA ont été installé pendant la période de la colonisation du pays pour faire face à la réparation des locomotives à vapeur. Cette infrastructure la plus importante du pays anciennement appelé atelier machine d'Alger a été construite d'une manière générale en 1929.

En 1949, la locomotive Diesel-électrique fait son apparition en Algérie et remplace la locomotive à vapeur qui à cette époque circulait encore plusieurs séries de locomotives de marques BALDWIN et ALCO sont dans un premier temps acquises et à partir de 1957 les locomotives ALSTHOM sont introduites à leur tour en Algérie.

Pour faire face à la maintenance de ces nouveaux types de machines, l'atelier va connaître des aménagements partiels. C'est ainsi que l'Atelier « moteurs thermiques » sera construit et mis en service en 1961.

Dix ans plus tard, soit en 1971 aura lieu l'acquisition des premières locomotives de marque général Motors GM. La conception toute nouvelle des locomotives GM, tant du point de vue puissance que du point de vue caractéristique a introduit une modification fondamentale des systèmes d'entretien et de réparation pratiqués jusqu'à cette date.

Par la force de l'âge (70) ans l'atelier de HAMMA est devenu inadapté aux besoins d'une économie moderne vu ces innombrables défaillances, ou ces installations obsolètes aux normes et équipements techniques ne répondent plus aux besoins d'entretien et de maintenance de qualité.

D'où d'autres nouveaux ateliers (Base Principale de Maintenance des Locomotives) BPML au style moderne ont été construits par l'entreprise SNTF. (1)



Figure I.1 : Locomotive GT 36 (060 DS07).

Le choix du site de Rouïba s'est porté sur cette dernière, non pas par quelques décisions inconsidérées au contraire, à proximité de la zone industrielle et du port sec de la SNTF dans des espaces qui permettent toutes les manœuvres.

L'inauguration de ces ateliers (base principale de maintenance des locomotives) a eu lieu le 05 juillet 2006 par Monsieur le président de la république ABDELAZIZ BOUTEFLIKA.

I. 3. Présentation de la Base

I.3.1. Fiche Technique de la BPML Rouïba Alger

- a) **Dénomination :** Base Principale de Maintenance des Locomotives.
- b) **Adresse :** 15, Rue Colonel Amirouche Rouïba Alger.

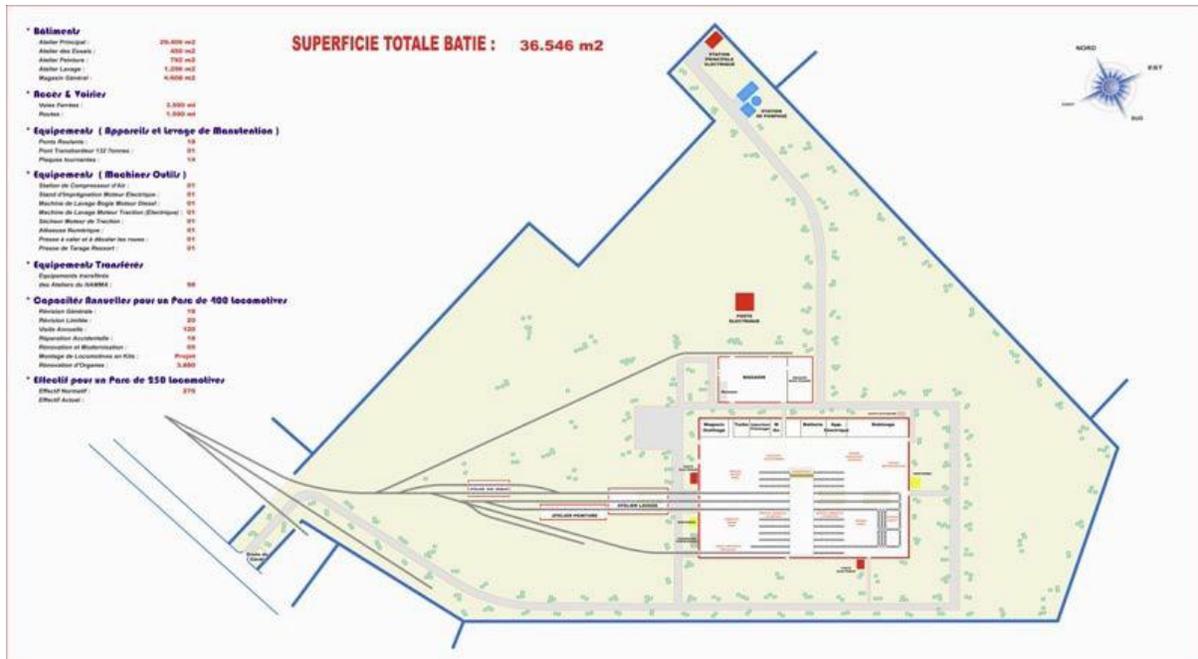


Figure I.2 : Fiche technique de la BPML Rouïba.

Superficie totale : 30 Ha
Superficie couverte : 4,5 Ha
Capacité : 400 Locomotives

Effectif : **Exécution :** 245
Maîtrise : 32
Cadre : 21
Total : 298

c) Bâtiments charpentes métalliques

- Bâtiment principal : 31 800 m²
- Bâtiment banc d'essai : 792 m²
- Bâtiment magasin général : 1 500 m²
- Bâtiment centre de formation : 1 440 m²
- Bâtiment moyens généraux : 840 m²
- Bâtiment pont bascule : 240 m²
- Bâtiment grue de relevage : 690 m²
- Bâtiment lavage locos : 300 m²

d) Bâtiments et ouvrages en dur

- Bâtiment administratif : 425 m²
- Bâtiment cantine cuisine : 1 102 m²
- Bâtiment internat : 656 m²
- Loge gardien : 20 m²
- Poste de transformation : 120 m²
- Sous station électrique : (03) 335 m²

- Station de relevage EU/EP : 96 m²
- Station de pompage EB/EP : 120 m²
- Local compresseur d'air : 123 m²
- Bâtiment de sécurité : 260 m²

e) Terrassements généraux

- Bâtiment principal : 31 800 m²
- Station de pompage eau : 120 m²
- Poste de livraison : 120 m²
- Sous station EL, C1, C2, C3 : 335 m²
- Station de relevage EU/EP : 96 m²
- Local compresseur : 123 m²
- Décapage : 33 600 m³
- Remblais et déblais : 216 655 m³
- Nivellement plate-forme : 188 620 m²
- Assainissement (buses) : 12 644 ml
- Alimentation eau, air, gaz : 18 130 ml
- Alimentation électrique : 41 241 ml
- Voies ferrées : 3 500 ml

f) Matériels de voie

- Rail : 322 Tonnes
- Traverses : 6 300 Unités
- Appareils de voie : 10 Unités
- Tables tournantes : 14 Unités

g) Matériel de transport et de manutention

- Pont transbordeur de 132 Tonnes : **1 Unité**
- Potences de 0,5 à 2,5 Tonnes : 4 Unités
- Ponts roulants de 5 à 80 Tonnes : 18 Unités

I. 4. Description des activités de la BPML

I.4.1. Activités principale et Attribution

La mission de la base est une mission de maintenance des locomotive GM (moteur V16, voie normale). Aussi a-t-elle pour objectif de fonctionnement la mission en état du matériel roulant (par opposition aux matériels remorqués), c.à.d. les voitures et les wagons.

Elle traite un parc de 185 machines toutes séries confondues qui doivent passer en révisions périodiques suivant un programme de réparation, ces opérations sont de quatre niveaux :

- Révision Générale (RG) toutes les 8 années.
- Révision Limitée (RL) toutes les 4 années.
- Visite Annuelle (VA2), qui intervient tous les deux (02) ans.
- Réparation accidentelle (RA) et réparation accidentelle importante (RAI) estimée à 20% du plan de charge global.

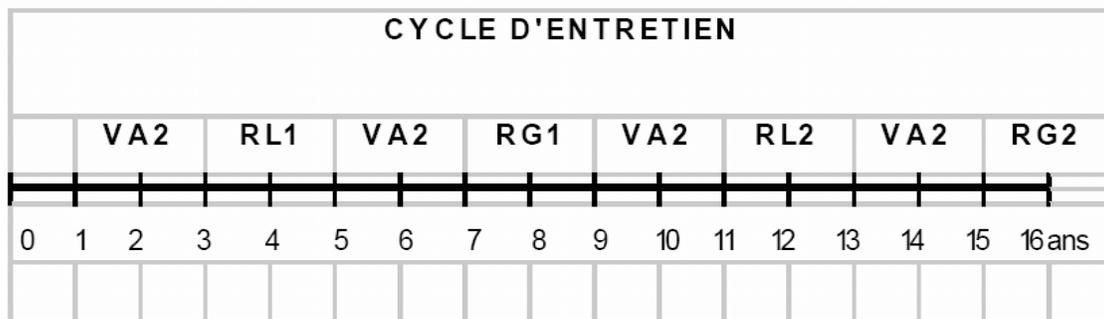


Figure I.3 : Cycle d'entretien.

Pour ce faire, l'atelier dispose de documents et instructions techniques qui définissent la nature de l'intervention et la périodicité des visites selon le type d'opération (RG, RL, VA2).

Cette documentation a été élaborée au niveau des structures compétentes centrales de l'entreprise en fonction des recommandations du constructeur et de l'expérience de l'entreprise dans le domaine.

I.4.2. Parc matériel en charge

L'unité traite un parc de 185 machines GM, de différentes séries :

- 24 Locomotives 060 DD.
- 23 Locomotives 060 DF.
- 14 Locomotives 060 DG.
- 21 Locomotives 060 DH.
- 23 Locomotives 060 DL.
- 10 Locomotives 060 DM.
- 10 Locomotives 060 DP.

- 16 Locomotives 060 DR.
- 14 Locomotives 060 DS.
- 30 Locomotives 060 DT.

Dont trente-trois (33) Locomotives sont équipées d'armoires EM2000, des séries suivantes :

- Trois locos modernisées 060 DF 03 - 060 DG 12 - 060 DL 21.
- Seize locos (16) 060 DR.
- Quatorze locos (14) 060 DS.

I.4.3. Charges annuelles

Comme il a été vu précédemment, les principales attributions de l'unité sont le maintien en état du matériel roulant, par le moyen d'opérations périodiques de révision. Toutefois le plan de charge global comporte d'autres types d'interventions non moins importantes, C'est à dire commande de travaux ou de pièces des autres établissements du réseau. Dont les essentielles sont :

- Outillage : Travaux de réparation d'outillages.
- Intégration : Confection de pièces pour le compte des Ateliers d'Alger.
- DR : Demandes de réparation.
- Relevage : Travaux de relevage (déraillement) au moyen de grue 120 Tonnes.

I.4.4. Intervention sur le matériel

Nature des opérations	Nombre	Volume Horaire (heures)
RG (Révision générale)	10	64 000
RL (Révision limitée)	08	40 000
VA2 (Visite annuelle 2 ans)	16	24 000
RA (Réparation accidentelle)	/	27 440
DR (Demande de réparation)	/	54 000

Tableau I.1 : Intervention sur le matériel par ans.

Le calcul des effectifs est basé sur l'allocation de 1819 heures de travail/agent, par an.

I.4.5. Activités annexes

D'une manière générale les activités annexes ont été évoquées ci-dessus, hormis celle relatives à la maintenance en état des installations fixes et des moyens de production.

On peut citer encore :

- Le reprofilage des essieux.
- Calage et décalage des essieux.
- Rectification, polissage des vilebrequins.
- Rembobinage des induits et stators des moteurs de traction.
- Rembobinage des induits et divers moteurs électriques.
- Grand bobinage.
- Reconditionnement et réparation des organes parc (ensemble de
- Puissance, turbo.
- Bogie complet, compresseur ...)
- Confection de certaines pièces GM, précédemment importées.
- Sous-traitance nationale : FERROVIAL, COFACI, SAFI, DECOFLEX, AFRICAVER, MERIMETAL, Etc....

I.4.6. Les missions de la BPML Rouïba

- Assurer le contrôle et la mise en œuvre de la production arrêtée dans le cadre du plan annuel de maintenance.
- Garantir le respect des objectifs fixés.
- Assurer l'élaboration des procédures et des prescriptions techniques applicables aux activités de maintenance.
- Proposer les orientations en matière d'évolution et d'aménagement des installations pour ces activités.
- Assurer la gestion des moyens et du patrimoine propre aux Ateliers.

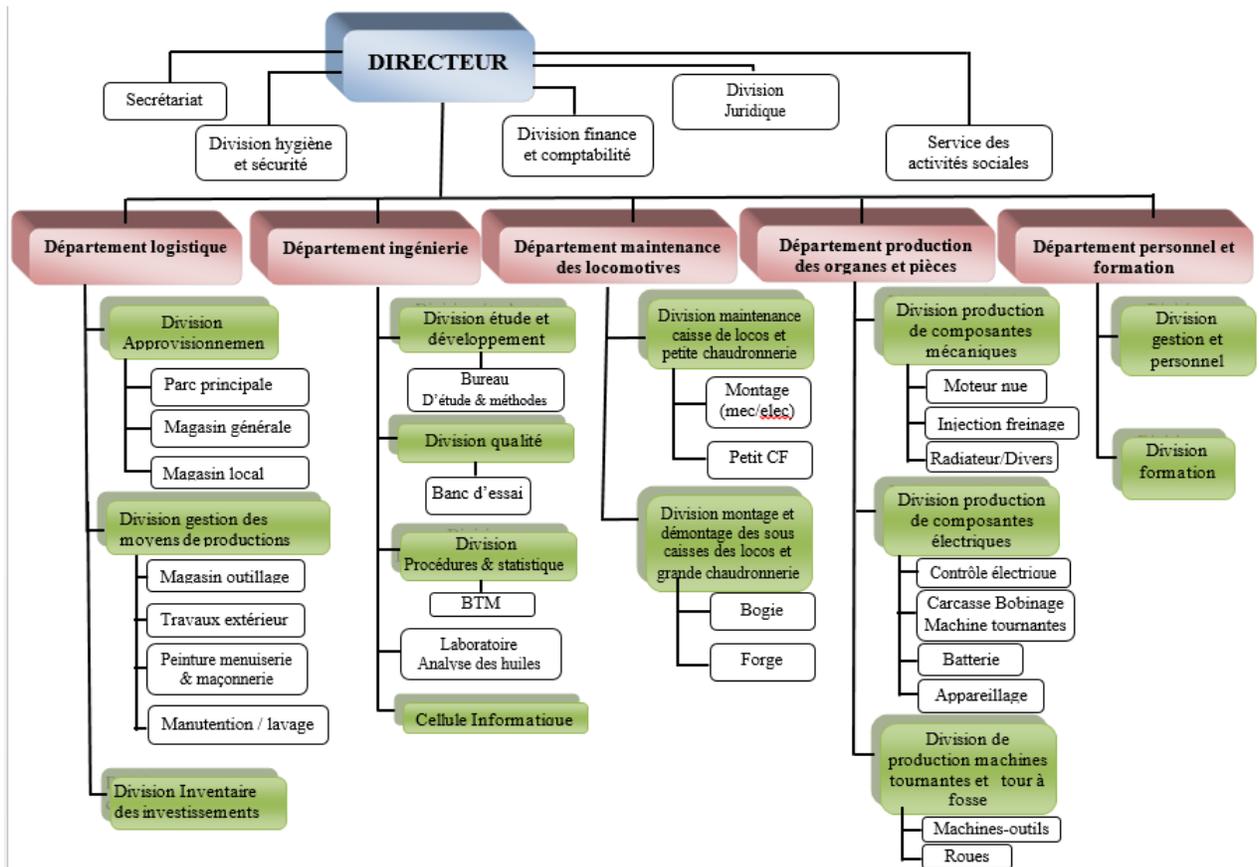
I.4.7. Attributions de la BPM Rouïba

- La maintenance préventive et curative des locomotives Diesel Électrique et des composants de locomotives :

- La visite, révision, réparation, rénovation et modernisation des locomotives Diesel Électrique et de leurs composants
- Les prestations diverses pour le compte de l'Entreprise ou pour le compte des tiers dans le cadre de ses activités de maintenance.
- La gestion du laboratoire central d'analyse des huiles et métaux – La formation du personnel des Ateliers.

I. 5. Organigramme de la BPML Rouïba

La base principale de maintenance de locomotives Rouïba (BPML) est composée de cinq départements et dix-sept divisions.



I.5.1. Département maintenance des locomotives :

Le département a pour missions d'assurer l'animation et la coordination de l'action des ateliers, pour permettre la réalisation de la maintenance préventive et curative des locomotives et de ses

composants, dans les meilleures conditions de coûts, de délai et de qualité. Il est composé de deux divisions :

I.5.1.1. Division maintenance caisse de locomotives et petite chaudronnerie :

- La division est responsable de la coordination des travaux de maintenance des locomotives.
- Elle établit le planning des travaux.
- Elle est responsable des tests et tarage en charge des locomotives.
- Elle est responsable des essais en ligne des locomotives.
- Elle alerte le responsable de la maintenance des difficultés rencontrées qui risquent d'influer sur le respect des délais.
- Elle coordonne les différentes actions concernant la sécurité du personnel
- Elle incite à la recherche permanente de l'amélioration de l'organisation, des coûts, et à la réduction des immobilisations.

I.5.1.2. Division montage et démontage des sous caisses des locomotives et grandes chaudronneries

La division assure les taches et les missions suivantes :

- Faciliter l'inscription en courbe.
- La charge du véhicule repose en général sur le bogie par l'intermédiaire d'une crapaudine centrale et d'un pivot sécurisé par une cheville ouvrière.
- Liaison entre les essieux et la caisse.
- Assure les rôles de freinage.
- Chargée des opérations de confection et de réparation des matériels moteurs (systématique) par des techniques de dressage (à chaud, à froid), guillotinage, pliage, cintrage, cisailage et tronçonnage.

I.5.2. Département Logistique :

Le département a pour missions de mettre à disposition des utilisateurs en toutes circonstances et en temps opportun les moyens matériels nécessaires à la réalisation optimale des activités de maintenance de la BPML Rouïba.

- Le suivi du programme de maintenance du matériel.

- La gestion des approvisionnements.
- Le suivi des inventaires.
- La création des pièces.
- La coordination avec les autres structures.

Il est composé de trois divisions :

I.5.2.1. Division approvisionnements :

La division a pour missions de mettre à disposition des utilisateurs en temps opportun les fournitures qui leur sont nécessaires.

- Elle assure la gestion et le contrôle des approvisionnements :
 - Pièces magasins des locomotives.
 - Organes parc.
 - Démarches et prospections pour les achats locaux.
- Assure les réceptions et le contrôle qualitatif et quantitatif des livraisons.
- Procède aux inventaires.
- Procède aux achats locaux de matières, fournitures et pièces de rechange.

I.5.2.2. Division patrimoine et moyens de production :

La division a pour taches et missions :

- Assurer la gestion des contrats de maintenance des installations fixes et mobiles de la base de maintenance.
- Assurer la gestion et le stockage des outillages.
- Assurer les opérations de lavage et peinture des locomotives et des organes.
- Assurer les opérations de manutention à l'intérieur de la base.
- Suivre et gérer les contrats de nettoyage des ateliers et des bâtiments et les contrats d'entretien de la station d'épuration des eaux et de gestion des déchets.

I.5.2.3. Division des inventaires :

La division a pour missions d'assurer les procédures d'inventaires et suivre et gérer les entrés et les sorties au logiciel d'inventaire des organes par cet des équipements de l'atelier.

I.5.3. Département production des organes et pièces :

Le département a pour missions d'assurer la production et la maintenance des différentes pièces et organes mécaniques et électriques des locomotives. Il est composé de trois divisions :

I.5.3.1. Division production de composants mécaniques :

La division assure les tâches et missions de révision et réparation des composants mécaniques et pneumatique déposés à la division.

- Elle est responsable de la coordination des travaux de maintenance préventive et corrective des pièces déposées.
- Elle établit le planning des travaux de la division.
- Elle alerte le responsable de la production des difficultés rencontrées qui risquent d'influer sur l'alimentation des pièces déposées à l'Unité de production.
- Elle incite à la recherche permanente de l'amélioration de l'organisation, des coûts et de la qualité.
- Elle assure les visites, les réparations, les révisions et les rénovations des organes mécaniques et pneumatiques des locomotives pour les besoins des autres structures.
- Elle assure les travaux d'usinage, de soudure, de peinture et d'ajustage.

I.5.3.2. Division production de composants électriques :

La division assure les tâches et missions de révision et réparation des composants électriques déposés à la division.

- Elle est responsable de la coordination des travaux de maintenance préventive et corrective de tout organe déposé.
- Elle établit le planning des travaux de la division.
- Elle alerte le responsable de la production des difficultés rencontrées qui risquent d'influer sur l'alimentation des pièces déposées à l'unité de production.
- Elle incite à la recherche permanente de l'amélioration de l'organisation, des coûts et de la qualité.

- Elle assure les visites, les réparations, les révisions et la rénovation des organes électriques, électroniques et des machines tournantes des locomotives.
- Elle assure les visites les réparations, les révisions et la rénovation des organes électriques, électroniques et des machines tournantes des locomotives pour les besoins des autres structures.

I.5.3.3. Division de production machines tournantes et tour à fosse :

La division a pour taches et missions :

- Alésage des roues.
- Alésage des portées de butée de friction (boolster)
- Calage et décalage des essieux montés (80 à 120T)
- Calage et décalage des roulements (graissage des roulements, joint d'étanchéité, bagues de roulement, etc.).
- Reprofilage des roues (table de roulement, chanfreinage du boudin).
- Contrôle et détection des fissures du vilebrequin (magnaflux).
- Rectification du vilebrequin.
- Entretien des carcasses (taraudage des trous de fixation des chapeaux de palier)
- Remontage des boites d'essieu.
- Travaux de mortaisage (rabotage vertical) : Fraisage, glaçage, perçage, alésage et rectification.

I.5.4. Département Ingénierie :

Le département a pour missions d'étudier les problèmes techniques des matériels et organes dont l'atelier est Directeur.

- Il est chargé de toutes les études de développement rentrant dans le cadre de l'amélioration des conditions de maintenance.
- Il coordonne et suit les études, les élaborations, rectifications et mises à jour des spécifications de maintenance.

Le département est composé de trois divisions :

I.5.4.1. Division études et développement :

La division dirige un groupe d'agents techniciens afin de produire des études de transformation et de modification et développement tout en respectant les normes et spécifications techniques.

- Elle valide les solutions techniques
- Elle gère, analyse et traite l'ensemble des innovations proposées par le personnel de la base.
- Elle réalise les études d'ingénierie de la maintenance.
- Les études de fiabilité des organes (MTBF, MTTR, taux d'incidents,...etc.).
- Elle assure le suivi des études de conception et de réalisation des pièces d'intégration industrielle.
- Le suivi et l'homologation ou agrément des essais de comportement des pièces de fabrication locale.
- Elle établit une banque de données fournisseurs.
- Elle élabore des spécifications techniques d'appels d'offres des matériels et pièces de rechange.
- Elle prend en charge les évaluations techniques des offres et établit des propositions de création, modification ou suppression de pièces de la nomenclature générale.
- Elle assure le suivi et l'assistance pour toute modification ou application sur locomotive.
- Elle réceptionne et expertise les engins nouvellement acquis par l'entreprise et assure leur suivi pendant la période de garantie.
- Elle participe et contribue aux programmes de formation de l'entreprise.

I.5.4.2. Division Statistiques et Procédures :

La division a pour missions l'élaboration et la rédaction des documents et des procédures de maintenance.

- Elle établit les statistiques sur les cycles et les comportements des séries et sous séries de matériels. Elle recherche le cycle optimal de chaque sous série de matériel entre deux opérations de maintenance majeures.
- Elle définit avec autres structures les consistances des travaux à réaliser entre deux opérations de maintenance majeures.

- Elle planifie, prépare, ordonnance et lance les travaux de maintenance.
- Elle assure l'expertise des locomotives et de leurs composants en vue de leur visite, réparation, révision, rénovation et modernisation.
- Elle établit les fiches de réparation et les procès-verbaux d'expertise.
- Elle établit les bons de commande matière, pour le compte des différentes sections.
- Elle établit et enregistre les bulletins de travaux.
- Elle assure la gestion de la documentation technique, sa mise à jour, son classement et sa ventilation aux sections concernées.
- Elle conçoit et élabore les fiches et notices techniques.
- Elle contribue aux actions de formation de personnel.

I.5.4.3. Division Qualité :

- La division Qualité des ateliers a pour missions d'assurer le développement, la mise en place et le maintien du système de management par la qualité dans les ateliers.
- Par délégation du directeur, la division a autorité sur l'ensemble du personnel pour surveiller et rendre compte du fonctionnement du système mis en place.
- Elle assure une veille au respect des normes qualité ISO dans les dispositions mises en place dans les ateliers.
- Effectuer les analyses chimiques des huiles, du gasoil, du sable (granulométrie), de l'eau distillée et des graisses.

I.5.5. Département personnel et formation :

Le département assure la gestion et la formation du personnel des ateliers et La gestion des carrières du personnel. Il est composé de deux divisions :

I.5.5.1. Division gestion et personnel :

La division a pour taches et missions :

- Gestion des personnels
- La définition des effectifs en fonction du plan de charge
- La définition du plan de formation
- La médecine du travail

- La tenue des archives.

I.5.5.2. Division formation :

La division assure la réalisation des actions de formation du personnel et des stagiaires externes.

I.5.6. Division finances et comptabilité :

La division assure la gestion financière et comptable des ateliers. Elle prend en charge :

- L'élaboration du budget.
- Le suivi des réalisations budgétaires.
- La tenue de la comptabilité générale et financière de la base.
- La facturation de la maintenance pour les établissements du réseau et des tiers.
- Le suivi de la trésorerie et des états d'inventaires comptables.
- L'analyse des comptes.
-

I.5.7. Division hygiène et sécurité :

Elle est chargée du suivi des conditions d'hygiène et de sécurité, et de l'animation des actions de formation initiée en matière d'hygiène et de sécurité.

I.5.8. Division juridique :

La division a pour missions de fournir toute sorte de conseils juridiques à la base

Chapitre II

Présentation des Locomotives GM (GT 36) et du Moteur diesel à deux-temps

Chapitre II

Présentation des locomotives GM (GT 36) et du moteur diesel à deux temps

II. 1. Introduction

Le GT36CW/GT36HCW est une locomotive diesel électrique de 3500 cv (nominal) destinée à un usage général. Elle est équipée d'un moteur diesel turbocompressé à 16 cylindres qui peut développer plus de 3700 cv lorsqu'aucune limitation électrique ou mécanique n'existe. La génératrice principale transforme l'énergie mécanique provenant du moteur en électricité puis distribue cette dernière vers les moteurs de traction via l'armoire haute tension. Chaque moteur de traction est directement relié à un essieu. Le rapport d'engrenage roue-moteur de traction détermine la vitesse de fonctionnement maximum de la locomotive. Cette locomotive dispose d'un rapport 61 : 16 entre les moteurs de traction et les essieux, et sa vitesse maximum est de 125 km/h (78 MPH). Dans ce chapitre nous étudierons la locomotive GM(GT36).

II. 2. Fonctionnement de la locomotive GM(GT36)

Les batteries de stockage libèrent l'énergie nécessaire pour démarrer le moteur diesel. Le commutateur de démarrage du moteur commande l'alimentation de solénoïde du démarreur monté du côté droit inférieur à l'arrière du moteur (côté gauche de la locomotive). Ce solénoïde électrique accouple le pignon du démarreur à la couronne dentée du moteur. Lorsque le pignon est accouplé, la puissance de la batterie est appliquée au démarreur pour lancer le moteur diesel.

Lorsque le bouton de démarrage du moteur est enfoncé, l'ordinateur de la locomotive (EM2000) commande la séquence de démarrage :

La pompe de combustible électrique démarre et pressurise le système d'injection du combustible.

Les pignons du démarreur s'accouplent à la couronne dentée du moteur.

La pleine puissance de la batterie alimente les démarreurs et le moteur se met en marche.

Le moteur est lancé et la vitesse augmente jusqu'au ralenti.

Une fois que le moteur est lancé, la génératrice auxiliaire alimente directement le moteur de la pompe à combustible. Le moteur diesel entraîne la génératrice principale. La génératrice principale tourne à la vitesse du moteur, générant un courant alternatif CA. Les blocs de redresseur de génératrice principale transforment la sortie de courant alternatif CA de génératrice en courant continu CC. Le courant continu CC de sortie des blocs de redresseur alimente les moteurs de traction. L'alternateur auxiliaire (aussi connu comme alternateur d'excitation) est physiquement accouplé à la génératrice principale. Il fournit le courant pour exciter le champ de génératrice principale et alimente les ventilateurs de radiateur, la soufflerie à filtre à inertie et les différents transducteurs magnétiques et dispositifs de commandes. Un arbre couplé au moteur entraîne le compresseur d'air. Le compresseur d'air produit la pression d'air nécessaire au fonctionnement du système de frein pneumatique et des autres dispositifs pneumatiques tels que les essuie-glaces et l'avertisseur. Le train d'engrenages du moteur entraîne les pompes à eau de type centrifuge qui font circuler le liquide de refroidissement dans le moteur et dans les systèmes de refroidissement associés. Les pompes à huile sont aussi entraînées par le train d'engrenages du moteur. Elles approvisionnent les surfaces de fonctionnement critiques en huile de graissage dans tout le moteur. La locomotive dispose de six moteurs de traction CC. Trois d'entre eux sont incorporés dans chacun des deux bogies qui supportent le châssis de locomotive. Chaque moteur de traction est directement relié à l'essieu sur lequel il est monté. Les bogies peuvent tourner librement sous la locomotive, lui permettant de suivre les courbes de rail sans dérailer. Lorsque la locomotive est en déplacement, les bogies absorbent les chocs mécaniques tout en maintenant la traction roue-rail. (2)

II. 3. Introduction sur le moteur diesel a deux temps de la locomotive GM

C'est la principale source d'alimentation de la locomotive. Il comprend un grand bloc-cylindres, avec les cylindres disposés en ligne droite ou en V, Ils offrent les avantages du faible rapport poids/puissance. Le moteur fait tourner l'arbre de transmission jusqu'à 1 000 tr/min, ce qui entraîne les différents éléments nécessaires à l'alimentation de la locomotive. Comme la transmission est électrique, le moteur est utilisé comme source d'alimentation pour le générateur d'électricité ou alternateur, comme on l'appelle aujourd'hui. Le moteur Diesel peut être soit à deux temps, soit à quatre temps.

II. 3.1. Fonctionnement du moteur diesel a deux temps de la locomotive GM(GT36)

Le moteur diesel fonctionne selon un cycle à deux courses, avec une alimentation sur chaque course descendante. En bas de chaque course descendante, les cylindres sont aspirés par l'ouverture des orifices de parois de cylindre vers une chambre (boîte à air) alimentée en air pressurisé provenant de la turbine du turbocompresseur. L'air pressurisé reprend les gaz usés du cylindre par les soupapes d'échappement multiples dans sa culasse. Tandis que le piston remonte, les orifices sont fermés et les soupapes d'échappement ferment. L'air est comprimé dans le cylindre. En haut de course, le combustible est injecté dans le cylindre et inflammé par la chaleur de la compression pour fournir l'énergie pour entraîner le piston vers le bas jusqu'à ce que les orifices de paroi de cylindre et les soupapes d'échappement s'ouvrent. Les gaz d'échappement des cylindres passent par un collecteur pour entraîner le rotor de turbine de turbocompresseur avant de passer par la tubulure de silencieux d'échappement. Lors du démarrage et pour des niveaux de puissance plus faibles, il n'y a pas suffisamment d'énergie thermique pour entraîner la turbine assez rapidement pour fournir l'air nécessaire pour la combustion. À ce moment, le moteur entraîne le turbocompresseur par un train d'engrenage - les gaz d'échappement disponibles permettent une assistance. À des niveaux de puissance élevés, l'énergie thermique de l'échappement est suffisante pour entraîner le turbocompresseur dans assistance, et l'embrayage à roue libre dans le train d'engrenages désengage l'entraînement mécanique du moteur.

Le moteur est équipé de pompes à eau de type centrifuge a pignon entraîné montée sur le moteur. Le liquide de refroidissement est pompé vers les collecteurs du moteur qui sont connectés aux culasses et aux chemises, et vers les post-refroidisseurs de turbocompresseur. Un collecteur de retour de liquide de refroidissement dans le carter en V comprend les conduits d'échappement de cylindre (coudes). Le liquide de refroidissement réchauffé est reconduit vers le moteur en passant par les radiateurs et par un refroidisseur d'huile avant de retourner vers les pompes centrifuges.

Une pompe de reprise à pignon à déplacement positif aspire l'huile provenant du carter inférieur de moteur, au travers d'une crépine, puis la pompe par les filtres et un refroidisseur vers une seconde chambre de crépine. Une pompe à l'huile double reçoit l'huile provenant de la seconde crépine et la renvoie vers les collecteurs du moteur pour le graissage du moteur et le refroidissement de piston. Un filtrage supplémentaire intervient dans le circuit délivrant l'huile au turbocompresseur. Un filtre et une

pompe électrique séparée permettent le graissage du turbocompresseur et son refroidissement lors du démarrage et de l'arrêt du moteur.

Le combustible est aspiré dans le réservoir situé sur le châssis au travers d'une crépine d'aspiration métallique vers une pompe à pignon entraînée par un moteur à courant alternatif CA. La pompe force le combustible vers un filtre primaire à deux étages équipé d'une jauge de pression et d'une soupape de dérivation qui s'actionne si le filtre se bouche. Les filtres à combustible montés au moteur permettent un deuxième filtrage avant que le combustible atteigne les injecteurs situés sur chaque cylindre. L'excès de combustible qui n'est pas utilisé par l'injecteur permet son refroidissement avant d'être renvoyé vers le réservoir. Les injecteurs de combustible alimentent chaque cylindre en une quantité précisément mesurée de combustible atomisé à un moment précis du cycle de mise à feu. Le régulateur Woodward contrôle les injecteurs pour maintenir la quantité appropriée de combustible nécessaire pour garder la vitesse du moteur au niveau requis. (2)

II. 3.2. Cycles de fonctionnement du moteur diesel de la locomotive GM(GT36)

II. 3.2.1. Moteur à deux temps – Construction

La plupart des moteurs diesel à deux temps présentent une construction similaire, l'ensemble cylindre est maintenu en place par la culasse sur la partie supérieure ; sur la partie inférieure, il est maintenu par le piston et ses segments. Le carburant est introduit de la même manière, via un injecteur situé dans la culasse. Cependant, il existe quelques différences majeures : au lieu d'utiliser une soupape d'admission située dans la culasse, ce moteur exploite une ligne de d'orifices, figurant sur la partie inférieure de la paroi du cylindre. Ces orifices sont entourés par une chambre, généralement appelée chambre de balayage. L'air neuf est injecté dans cette chambre par le turbocompresseur, afin d'être utilisé lors de la combustion. (3)

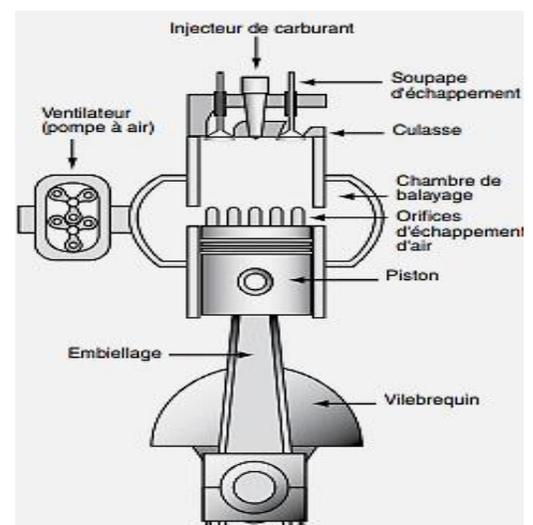


Figure II.1 : Moteur à deux temps - Construction.

II. 3.2.2. Moteur à deux temps – Balayage (début du processus)

Un moteur à deux temps utilise une autre méthode pour introduire de l'air neuf dans le cylindre. La rotation du vilebrequin pousse le turbocompresseur, rattaché via un couplage mécanique, à injecter de force de l'air neuf dans la chambre de balayage entourant les orifices de la paroi du cylindre. Lorsque le piston se trouve en bas de sa course, l'air neuf pénètre dans le cylindre via ces orifices. Comme les soupapes d'échappement s'ouvrent également, à ce moment, l'air remonte dans le cylindre et sort via ces soupapes.

Les orifices d'échappement d'air sont légèrement inclinés par rapport à la médiane du cylindre, ce qui entraîne un tourbillonnement de l'air en montée. Ainsi, le cylindre est entièrement purgé et rempli d'air neuf. Cette action porte un nom : le balayage. (3)

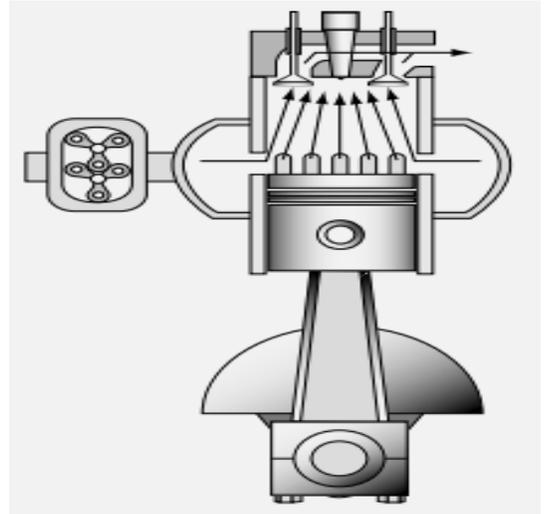


Figure II.2 : Balayage (début du processus).

II. 3.2.3. Moteur à deux temps – Balayage (fin du processus)

Le vilebrequin effectue une rotation, déplaçant ainsi le piston vers le haut du cylindre. Ce déplacement bloque le débit d'air neuf arrivant via les orifices de la chemise et oblige une petite partie de cet air à sortir via les soupapes d'échappement. L'échappement restant dans la course de combustion est entièrement expulsé du cylindre lors de cette opération. Ensuite, les soupapes d'échappement se ferment pour maintenir le cylindre en position et comprimer l'air. (3)

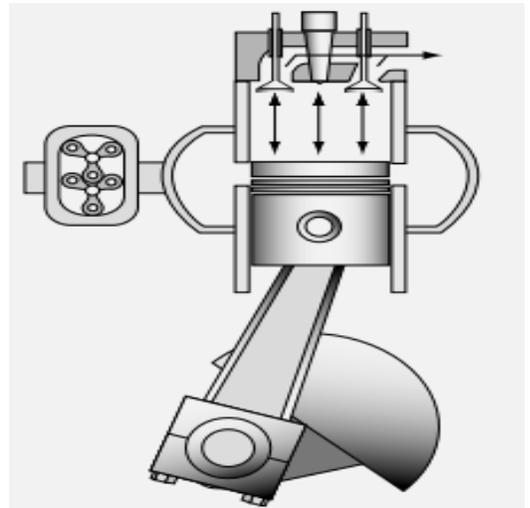


Figure II.3 : Balayage (fin du processus).

II. 3.2.4. Moteur à deux temps – Compression

Une fois ces soupapes fermées, le piston se déplace vers le haut, comprimant l'air dans le cylindre. Comme dans le moteur à quatre temps, la température et la pression augmentent une fois l'air comprimé. Cependant, dans un moteur à deux temps, la compression effectuée est légèrement différente : la pression initiale du cylindre est un peu plus élevée, à cause de l'intervention du turbocompresseur, et la course est nettement plus courte. (3)

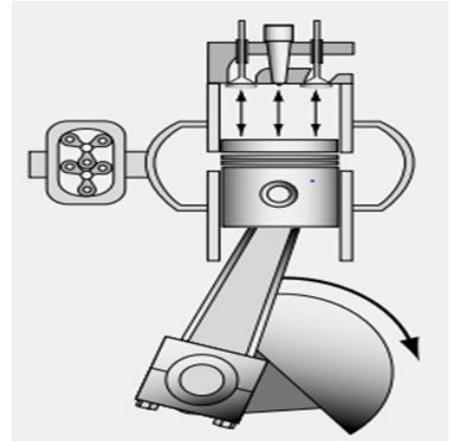


Figure II.4 : Compression.

II. 3.2.5. Moteur à deux temps –Injection

Dans un moteur à deux temps, l'injection du carburant dans le cylindre est gérée de la même manière. Lorsque le piston approche du point mort haut, l'injecteur introduit le carburant dans le cylindre, sous sa forme atomisée. Le carburant se mêle à l'air et brûle en cas de température élevée. La rotation du vilebrequin pousse le piston au-delà du point mort haut lorsque le carburant commence à brûler avec l'air. (3)

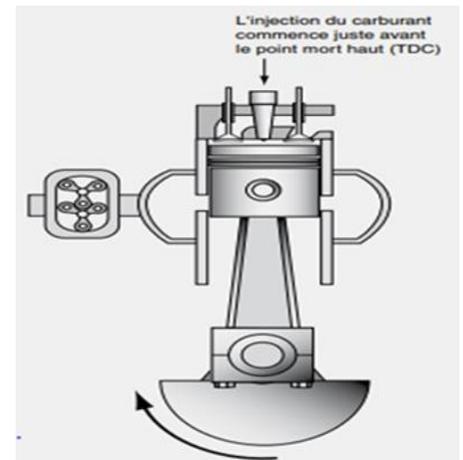


Figure II.5 : Injection.

II. 3.2.6. Moteur à deux temps –Combustion

Suite à cette combustion, la pression augmente rapidement dans le cylindre. Cette pression augmente dans toutes les directions de ce fait, la force poussant le piston vers le bas est nettement supérieure à celle qui comprime l'air au départ. La force appliquée au piston est convertie en mouvement rotatif sur le vilebrequin, ce qui permet de créer une force mécanique exploitable. (3)

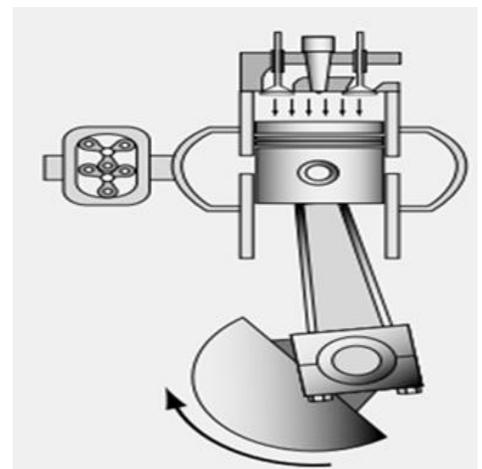


Figure II.6 : Course de combustion.

II. 3.2.7. Moteur à deux temps –Échappement

Le piston se déplace vers le bas le long de la course de combustion, atteignant un niveau juste avant que les orifices d'échappement d'air ne soient découverts. Les soupapes d'échappement s'ouvrent, afin de permettre la libération de la pression du cylindre dans l'atmosphère.

En ouvrant légèrement les soupapes d'échappement avant les orifices d'échappement d'air, le circuit initie un débit de gaz, qui circule via les soupapes ; la pression du cylindre est réduite en deçà de celle de la chambre de balayage. En réduisant la pression du cylindre de cette manière, le circuit empêche tout retour des gaz (retour de flamme) dans la chambre.

La pression du cylindre continue de baisser, jusqu'à ce que les orifices d'échappement d'air soient ouverts par le piston. À ce moment-là, l'air neuf de la chambre de balayage est autorisé à entrer et à balayer le cylindre ; le cycle recommence. (3)

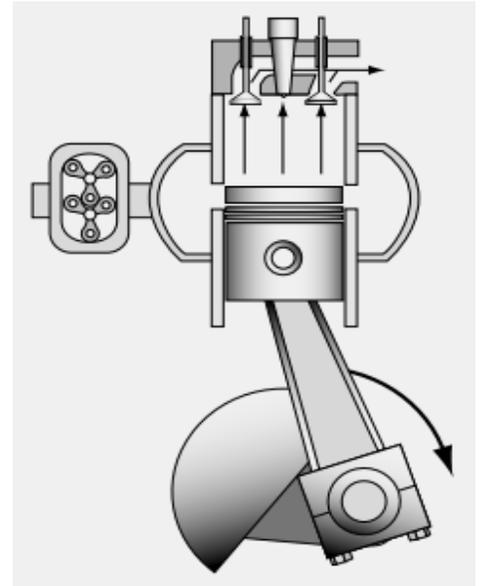


Figure II.7: Échappement.

II. 3.2.8. Moteur à deux temps –Conclusion

La conversion de l'énergie thermique contenue dans le carburant s'effectue de manière similaire, le moteur à deux temps fournit une impulsion pour chaque révolution du vilebrequin. Les impulsions du moteur à deux temps sont d'une magnitude moins importante que celles du moteur à quatre temps, à cause de la réduction des courses de combustion et de compression. (3)

II. 4. Organes du moteur diesel à deux temps de la locomotive GM (GT36)

Dans une locomotive le moteur est monté vers le bas sa partie arrière fait face à l'avant de la locomotive. Le moteur est organisé en paires de cylindres, chaque paire utilisant un coude commun du vilebrequin. Les cylindres sont répartis en deux rangées l'une à gauche et l'autre à droite. Les pompes à huile, les pompes à eau et le boîtier de crépine d'aspiration se trouvent à l'avant du moteur (extrémité auxiliaire). Le turbocompresseur et le train du pignon d'arbre à cames se situent à l'arrière du moteur. (3)

II. 4. 1. Ensemble de puissance

Chaque cylindre du moteur diesel comprend un groupe moteur ou un ensemble de puissance (voir qui inclut les pièces suivantes :

- Piston et segments
- Porte-pistons
- Bielle
- Chemise de cylindre
- Culasse
- Mécanisme de culbuteur



Figure II.8 : Ensemble de puissance démonté.

II. 4.1.1. Piston et segments

Les pistons des moteurs 645 sont en alliage de fonte, une conception de pièce symétrique qui peut être traitée aux phosphates ou recouverte d'une couche d'étain, inclut quatre segments de compression et deux segments racleurs situés sur la partie supérieure dont le but est d'isoler le cylindre du carter. Ces segments sont constitués d'acier ductile (lorsqu'ils doivent être utilisés avec des chemises recouvertes de chrome) ou sont chromés (lorsqu'ils doivent être utilisés avec des chemises dont le fini est en fonte). Le segment supérieur à utiliser dans ces derniers est généralement en acier inoxydable et chromé sur l'avant, les côtés étant soumis à un grenailage de précontrainte, afin d'améliorer la résistance à la fatigue. Un porte-piston de type "tourillon" est utilisé avec le piston pour permettre à celui-ci de tourner ou de "flotter" pendant le fonctionnement du moteur. (4)

II. 4.1.2. Porte-piston et Rondelle de butée

Le piston fonctionne sur un porte-pistons de type croisillon. Cet ensemble châssis porteur est inséré dans le piston, une rondelle de butée placée sur la partie supérieure de l'ensemble permet au piston de pivoter librement dans le cylindre. La lubrification et le refroidissement du porte-pistons/piston sont gérés par la partie du circuit d'huile de graissage consacrée au refroidissement du piston. (3)

II. 4.1.3. Bielle

Les bielles de type "tourillon" s'emboîtent : elles se composent d'une bielle plate et d'une bielle à tête fourchue. La bielle plate se déplace alternativement sur l'arrière du coussinet supérieur du maneton et elle est retenue en place par un contre-alésage dans la bielle à tête fourchue. Une extrémité de la crosse de la bielle plate est plus longue que l'autre et est connue sous le nom de "long patin". Les bielles plates sont installées sur le côté droit, le long patin orienté vers le centre du moteur. Les bielles à tête fourchue sont installées sur le côté gauche. (4)

II. 4.1.4. Chemise de cylindre

La chemise de cylindre, comprend une pièce en fonte trempée à laquelle deux chemises d'eau séparées sont installées et brasées. Une rangée d'orifices d'admission d'air entoure complètement la chemise. Une bride sur le côté extérieur de la chemise au-dessous des orifices, sert de raccord à la

canalisation d'eau de la chemise. Un déflecteur d'eau, empêche l'eau de frapper directement la paroi intérieure de la chemise. (4)

II. 4.1.5. Culasse

La culasse est fabriquée d'un alliage de fonte avec passages moulés pour la circulation de l'eau et des gaz d'échappement. Les passages d'eau au bas de la culasse correspondent aux orifices de décharges pratiqués dans la chemise. L'eau ou liquide de refroidissement circule à travers la culasse et se décharge par un coude monté sur le côté de l'épaulement de la culasse. Les canalisations d'échappement à l'intérieur de la culasse arrivent vis-à-vis les coudes du carter du moteur et conduisent les gaz d'échappement à travers la tubulure de sortie d'eau jusqu'au collecteur d'échappement. Quatre soupapes d'échappement contrôlent le débit des gaz du cylindre via les conduits dans le canal d'échappement du carter. Ces soupapes sont insérées dans des guides de soupape nitrurés remplaçables et maintenus en place par des ressorts de soupape et des clavettes. (4)

II. 4.1.6. Mécanisme de culbuteur

Trois culbuteurs sont montés sur la culasse. Deux culbuteurs actionnent les quatre soupapes d'échappement. Le troisième actionne l'injecteur. Les culbuteurs sont actionnés directement par l'arbre à cames par l'intermédiaire d'un galet de poussoir monté à l'extrémité fourchue de chaque culbuteur. L'extrémité opposée de chaque culbuteur comprend une vis de réglage et un écrou de blocage pour faire le réglage de l'injecteur, et des dispositifs de rattrapage de jeu à commande hydraulique. Le culbuteur de l'injecteur, bien que semblable en apparence au culbuteur des soupapes d'échappement. est plus fort et peut être identifié par sa chape à l'extrémité poussoir Elle est carrée sur le culbuteur de l'injecteur, mais en V sur le culbuteur des soupapes d'échappement. Aussi seul le culbuteur de l'injecteur possède l'encoche usinée pour la commande de régime excessif. Les culbuteurs d'injecteur et des soupapes d'échappement ne sont pas interchangeables. (4)

II. 4.2. Vilebrequin

Le vilebrequin, est une pièce forgée en acier à carbone dont les tourillons et les manetons ont été traités par induction. Sur les moteurs 8 et 12 cylindres, le vilebrequin est une pièce forgée en un seul bloc. Sur les moteurs 16 et 20 cylindres le vilebrequin est constitué de deux sections dont les raccords sont boulonnés ensemble. Des contrepoids sont ajoutés pour garantir un fonctionnement stable; tous les

vilebrequins sont dynamiquement équilibrés. Les conduits d'huile perforés assurent la lubrification la des paliers de vilebrequin. (4)



Figure II.9 : Vilebrequin.

II. 4.2.1. Paliers de vilebrequin

Le palier comprend deux parties : un insert supérieur et un insert inférieur. Constitué de bronze il est doté d'un support en acier et recouvert d'une couche plomb/étain (alliage blanc). On parle de palier trimétal. (4)

II. 4.2.2. Arceaux de butée

Les deux arceaux de butée sont en bronze pur et de forme demi-circulaire. L'une des faces de chaque arceau a des godets d'huile "digitiformes" pour assurer une lubrification adéquate. Les godets sont placés dans le contre-alésage ou dans le support pyramidal de chaque palier central et sont retenus en position par les chapeaux de palier. Leur but est de limiter le déplacement longitudinal du vilebrequin. (4)

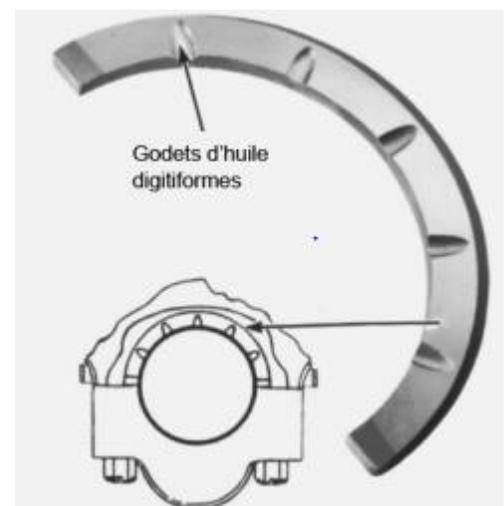


Figure II.10 : Arceaux de butée de vilebrequin.

II. 4.3. Distribution de l'équipement accessoire

La distribution de l'équipement accessoire est située à l'avant du moteur, et transmet la puissance du vilebrequin aux pignons de la pompe à huile, des pompes à eau, et du régulateur centrifuge (si utilisé). La distribution comprend le pignon d'entraînement d'équipement accessoire, le pignon de la pompe de reprise, le pignon de la pompe à huile principale, les pignons droit et gauche de la pompe à eau, et le pignon d'entraînement du régulateur (si utilisé). (4)

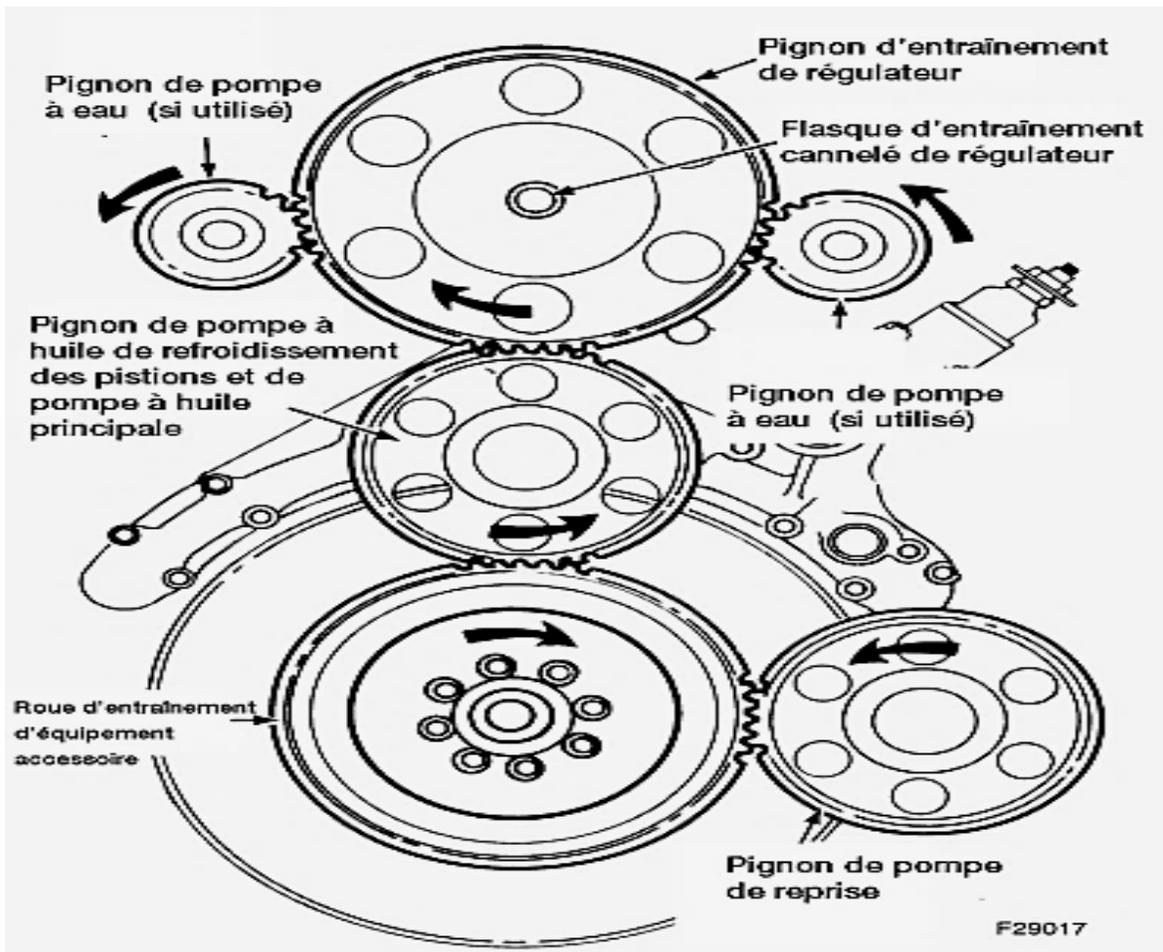


Figure II.11 : Distribution type de l'équipement accessoire (8, 12 et 16 cylindres).

II. 4.4. Couronne dentée et disque d'accouplement

La couronne dentée est utilisée sur les moteurs équipés de démarreurs. L'engagement des dents de la couronne dentée tourne le vilebrequin pour le démarrage du moteur ou choisit une position sur le vilebrequin lorsqu'on utilise un dispositif de mise en mouvement de moteur. La couronne dentée se trouve sur le côté moteur du disque d'accouplement et est boulonnée à celui-ci. Le disque d'accouplement sert de raccord entre le vilebrequin du moteur et l'arbre entraîné. Les degrés et les repères de point mort haut sont estampés sur la jante extérieure du disque d'accouplement. Il y a également des trous autour de la circonférence de la jante pour l'insertion d'une manivelle et pour tourner manuellement le vilebrequin. (4)

II. 4.5. Carters d'huile et de moteur

II. 4.5.1. Carters de moteur

Le carter est la pièce principale de la structure du moteur. C'est une pièce en acier formant un ensemble autonome rigide pouvant accommoder les organes mobiles des cylindres, le vilebrequin, et l'équipement moteur. Les goujons situés sur la partie supérieure de la chemise permettent de fixer cette dernière sur la culasse. Quatre boulons volumineux, placés sur le plan supérieur, fixent chaque extrémité au carter et absorbent les contraintes liées à l'allumage. Les étriers en A du palier de vilebrequin forgé soudés aux rails de base et au point de jonction des rangées du cylindre renforcent la base du carter et soutiennent le vilebrequin. (3)

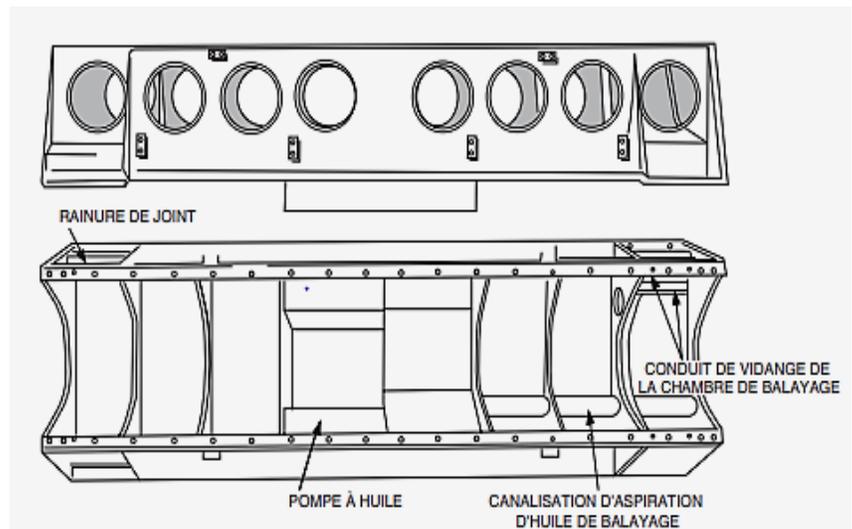


Figure II.12 : Carters de moteur.

II. 4.5.2. Carters d'huile

Le carter d'huile est un ensemble soudé constitué d'une plaque en acier. Il offre un support pour le moteur, joue le rôle de carter d'huile et constitue une structure autonome rigide lorsqu'il est associé au carter. Des trous de main sont placés de chaque côté du carter d'huile pour permettre l'accès aux roulements et au vilebrequin. Le carter d'huile présente une jauge d'huile baïonnette adaptée et un contacteur indiquant un niveau d'huile faible pour avertir l'utilisateur en cas de niveau insuffisant.

Les niveaux élevés et bas des jauges sont clairement indiqués de manière à permettre une utilisation des moteurs en toute sécurité dans le domaine de la marine, confronté au tangage et au roulis, avec des réserves raisonnables d'huile de graissage des moteurs. (3)

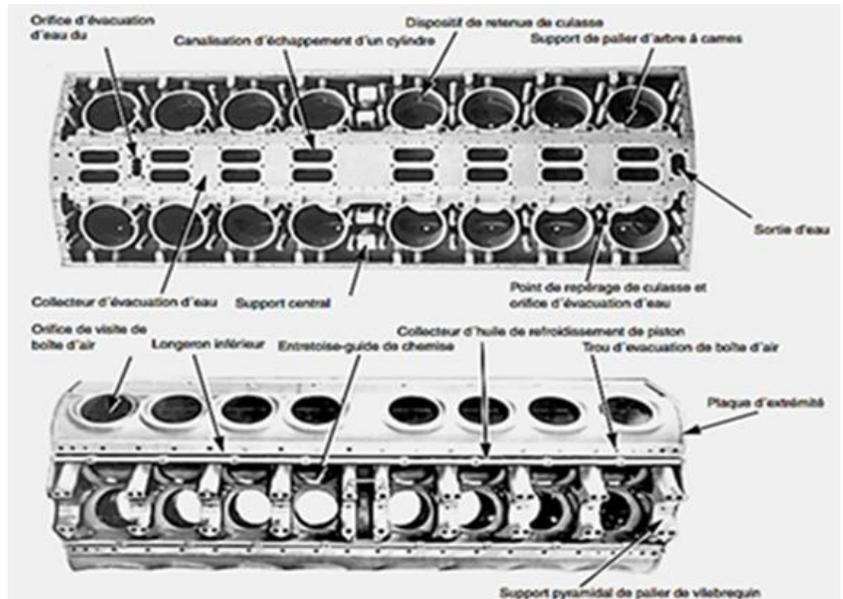


Figure II.13 : Carters d'huile.

II. 5. Systèmes du moteur diesel à deux temps de la locomotive GM (GT36)

II. 5.1. Systèmes d'admission d'air et d'échappement

II. 5.1.1. Turbocompresseur

Le turbocompresseur sert principalement à augmenter la puissance du moteur et à diminuer la consommation de combustible par l'utilisation des gaz d'échappement. le turbocompresseur a une turbine à étage simple avec train d'engrenages. Le train d'engrenages est nécessaire pour le démarrage du moteur, le fonctionnement sous charge légère et l'accélération rapide. Dans ces conditions il n'y a pas suffisamment d'énergie thermique provenant de l'échappement pour entraîner la turbine assez rapidement pour fournir l'air nécessaire pour la combustion et en fait, le moteur entraîne le

turbocompresseur au moyen du train d'engrenages aidé de l'énergie des gaz d'échappement. Quand le moteur approche la pleine charge, l'énergie thermique de l'échappement qui atteint des températures approchant 538°C (1000°F) est suffisante pour entraîner le turbocompresseur sans aide du moteur. A ce point, l'embrayage à roue libre dans le train d'engrenages se désengage et l'entraînement du turbocompresseur est mécaniquement débranché du train d'engrenages du moteur. (4)

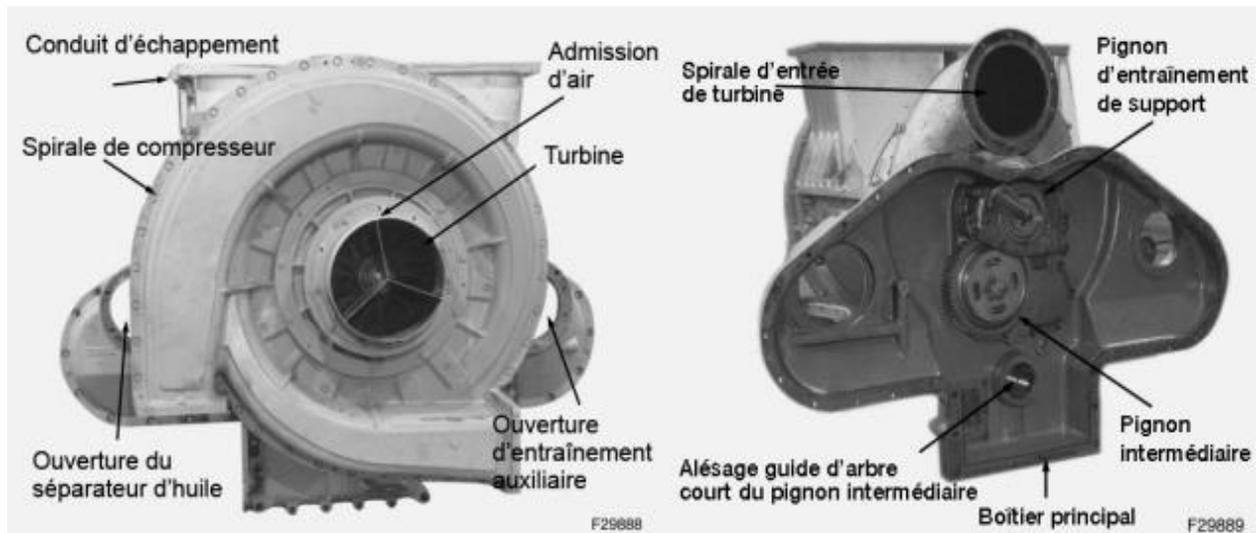


Figure II.14 : Turbocompresseur.

II. 5.1.2. Collecteur d'échappement

Le collecteur d'échappement est constitué de chambres, de joints de dilatation, et de l'adaptateur. Les joints de dilatation, qui sont utilisés entre les chambres et entre l'adaptateur et le tamis et le turbocompresseur, procurent la flexibilité nécessaire pour compenser la dilatation et la contraction du collecteur en fonction des changements de température. L'adaptateur contient un tamis purgeur pour empêcher l'entrée des matières étrangères dans le turbocompresseur. Une boîte de purge est fixée au corps extérieur pour ramasser les petits débris.

Les gaz d'échappement des cylindres du moteur sont déchargés des culasses dans le collecteur d'échappement et dans la turbine du turbocompresseur. En passant à travers la turbine, les gaz se dilatent à la pression atmosphérique traversent les conduits du turbocompresseur, et puis sont expulsés du moteur. (4)

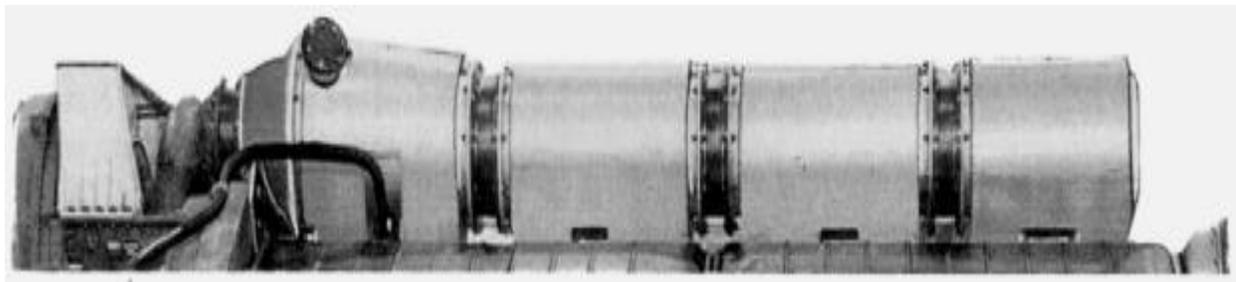


Figure II.15 : Collecteur d'échappement.

II. 5.2. Systèmes de refroidissement

Le système de refroidissement du moteur comprend des pompes à eau de type centrifuge entraînées par le moteur, des tubulures d'entrée d'eau remplaçables avec canalisation de raccordement individuelle à chaque chemise, des coudes de décharge de culasse et une tubulure de sortie à travers laquelle l'eau de refroidissement circule. Les pompes à eau de type centrifuge sont montées sur le boîtier de la prise de mouvement et sont entraînées par le pignon d'entraînement du régulateur (sur les moteurs 8, 12 et 16 cylindres) ou par le pignon de la prise de mouvement (sur les moteurs 20 cylindres).

L'eau de refroidissement circule à contre-feux à travers chaque post refroidisseur situé dans le conduit d'évacuation d'air du turbocompresseur, pour refroidir l'air avant qu'il ne pénètre dans la boîte d'air du moteur, L'eau sortant du moteur (et du post-refroidisseur) passe à travers un système de refroidissement externe pour dissiper la chaleur absorbée dans le moteur. Ce système comprend un réservoir d'eau, des jauges de niveau d'eau, des indicateurs de température, des radiateurs, et la tuyauterie de raccordement. (4)

II. 5.2.1. Température d'eau du moteur

Des indicateurs de température sont placés dans le système de refroidissement pour s'assurer que la température d'eau du moteur est dans les limites recommandées. Les thermostats maintiennent la température d'eau dans des limites déterminées. Un dispositif d'alarme en cas de surchauffe entre en fonction si la température du liquide est excessivement élevée à la décharge. (4)

II. 5.2.2. Liquide de refroidissement du moteur

Les liquides de refroidissement se composent d'eau, d'inhibiteur de rouille et si nécessaire d'antigel. Le choix et l'emploi d'une solution appropriée sont nécessaires pour le fonctionnement efficace

du système de refroidissement. Un déflecteur situé au niveau de chaque orifice d'admission d'eau des chemises permet de dévier l'eau et d'éviter tout contact direct sur la paroi interne des chemises. La détérioration ou l'absence de déflecteur peut entraîner la formation d'un point froid risquant d'endommager gravement l'ensemble de puissance. Le liquide de refroidissement circule de bas en haut dans la chemise d'eau des chemises et pénètre dans la culasse par le biais de douze orifices d'évacuation, situés sur la partie supérieure de la chemise. (3)

II. 5.2.3. Tuyauterie du système de refroidissement

Sur les moteurs équipés de système de refroidissement par chemise extérieure standard, chaque tubulure d'entrée d'eau est reliée à la plaque d'extrémité arrière par un tuyau d'admission d'eau du post-refroidisseur. La bride de l'extrémité arrière de la tubulure est équipée de deux joints d'étanchéité qui empêchent les fuites de la boîte d'air. Une bride à l'extrémité avant de la tubulure entre en contact avec la face extérieure de la plaque avant quand la tubulure est en place. Sur les moteurs équipés de systèmes de refroidissement séparés, la tubulure de post-refroidisseur séparé est utilisée à l'extérieur du moteur. Les tubulures d'entrée d'eau dans chaque boîte d'air sont bloquées au niveau de la bride de l'extrémité arrière. (4)

II. 5.2.4. Post-Refroidisseur

Un post-refroidisseur est situé de chaque côté du turbocompresseur pour refroidir l'air pénétrant dans chaque côté du moteur. Le refroidissement de l'air comprimé dans le turbocompresseur réduit la température de l'air, ce qui augmente sa densité et améliore le rendement du moteur. Les post-refroidisseurs sont des échangeurs de chaleur en forme de boîte comprenant un faisceau de tubes, à travers lesquels l'eau circule, et des ailettes pour aider le transfert thermique de l'air comprimé pénétrant dans la boîte d'air du moteur. (4)

II. 5.2.5. Pompes à eau

Les pompes à eau de refroidissement du moteur sont des pompes centrifuges à vidange automatique qui tournent dans le sens opposé du vilebrequin du moteur. Les pompes utilisées peuvent être standard ou de haute capacité en combinaison. L'arbre d'entraînement de pompe, sur la pompe à capacité standard ou sur celle à haute capacité est supporté dans le logement de la pompe par deux roulements à billes séparés par une entretoise en acier. (4)

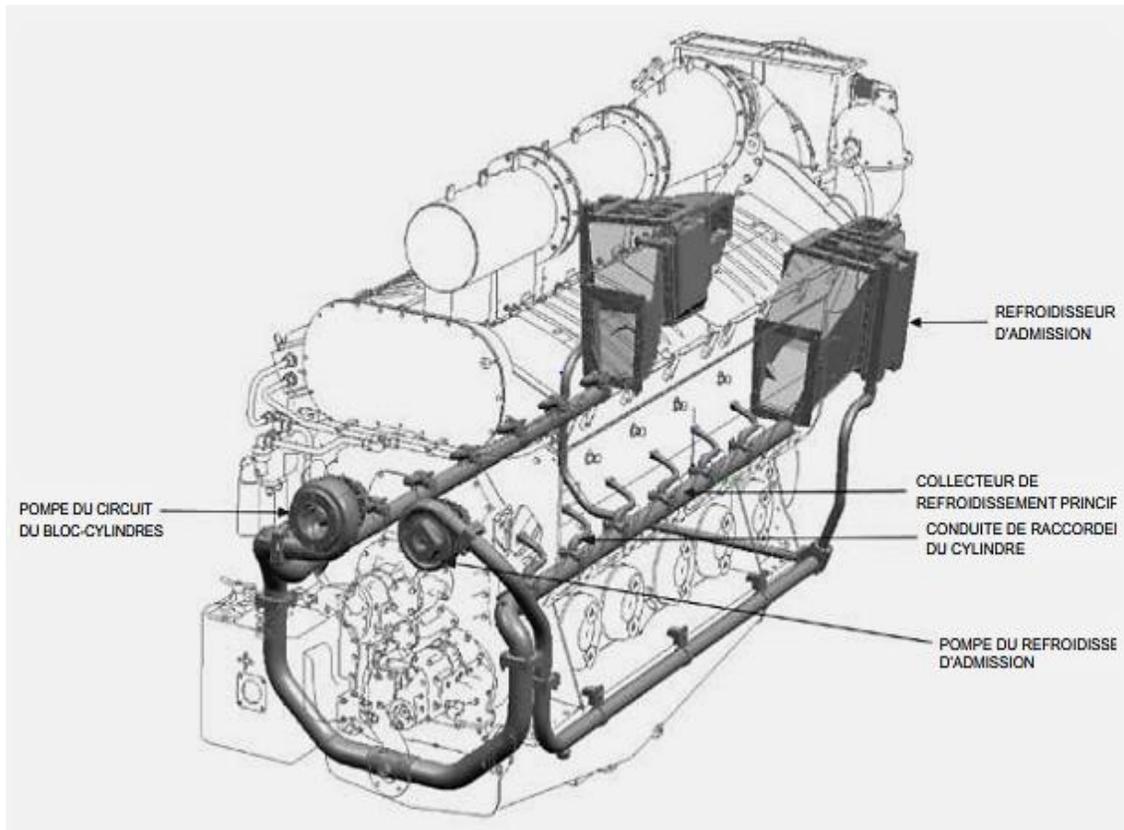


Figure II.16 : Schéma du système de refroidissement.

II. 5.3. Systèmes d'alimentation

Le système d'alimentation du moteur comprend les injecteurs, les filtres à combustible montés au moteur et les tubulures d'alimentation et de retour de combustible. Des éléments extérieurs du moteur tels que la pompe à combustible entraînée par moteur, le réservoir à combustible, la crépine d'aspiration de combustible et les canalisations connexes complètent le système d'alimentation.

Pendant le fonctionnement le combustible du réservoir est aspiré par la pompe à combustible à travers une crépine et est envoyé au filtre (secondaire) monté au moteur. Il traverse ensuite les éléments filtrants, la canalisation de la tubulure d'alimentation, le filtre à l'entrée de l'injecteur de chaque cylindre et aboutit dans l'injecteur. Une petite quantité du combustible livré à chaque injecteur est "pompée" dans le cylindre, sous très forte pression, à travers le pointeau et le nez de l'injecteur. (4)

II. 5.3.1. Injecteur

a. Injecteur mécanique MUI

L'injecteur MUI est logé dans un trou conique pratiqué dans le centre de chaque culasse le nez dépassant légèrement en dessous du fond de la culasse. Il est situé dans la culasse par un goujon et retenu en place par un crabot et un écrou. Les pièces mobiles externes de l'injecteur MUI sont lubrifiées par l'huile venant de l'extrémité de la vis de réglage du culbuteur d'injecteur. Les pièces mobiles internes sont lubrifiées et refroidies par l'écoulement du combustible à travers l'injecteur. (4)

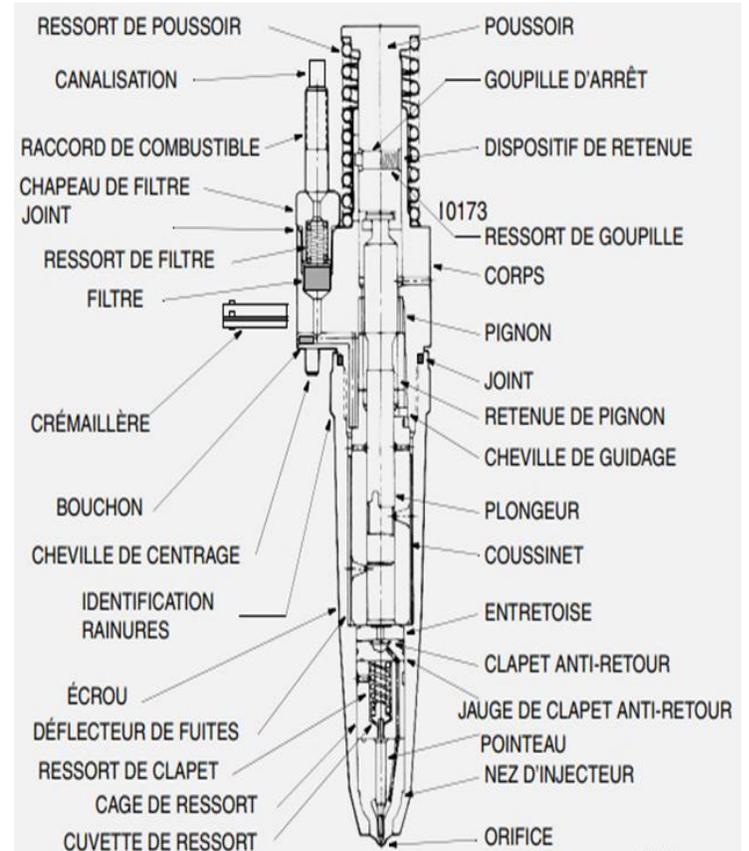


Figure II.17 : Coupe de l'injecteur MUI.

b. Injecteur MUI collés

Les moteurs peuvent avoir des injecteurs MUI qui collent à cause du combustible, de l'huile de graissage, ou du mauvais entretien des filtres. Puisque ces conditions ne sont très souvent que temporaires, la dépose des injecteurs peut être réduite au minimum en les dégagant avec de l'alcool pendant qu'ils sont en place. Il suffit d'appliquer du méthylène commercial ordinaire aux injecteurs à travers un trou opposé à celui de l'outil du calage, et en "bafouillant" les injecteurs ou en mettant le moteur en marche. Ce collage se produit habituellement sur les injecteurs dont les plongeurs sont enfoncés quand le moteur est arrêté. (4)

C. Injecteur électronique EUI

L'injecteur électronique EUI est logé en utilisant une bague de réglage dans le trou conique au centre de chaque culasse, avec le nez dépassant légèrement en dessous du fond de la culasse. Il est situé dans la culasse par un goujon et retenu en place par un crabot et un écrou. Les pièces mobiles externes de l'injecteur EUI sont lubrifiées par l'huile venant de l'extrémité de la vis de réglage du culbuteur d'injecteur. Les pièces mobiles internes sont lubrifiées et refroidies par l'écoulement du combustible à travers l'injecteur. (4)

II. 5.3.2. Filtre à combustible

Le filtre à combustible monté aux moteurs 16 cylindres nouveaux modèles avec injecteurs EUI est situé à l'avant côté droit du moteur .Le combustible revenant des injecteurs traverse la section de "retour de combustible" de la tubulure (bloc) du filtre. Un clapet de décharge à l'entrée crée une contre-pression de combustible aux injecteurs pour améliorer le fonctionnement. Le clapet de décharge du "retour de combustible" est réglé à 276 kPa (120psi). À mesure que les éléments de filtre deviennent encrassés, la pression du combustible dans le filtre augmentera. Quand la pression du combustible à l'intérieur de la tubulure du filtre atteindra le niveau limite de la soupape de sûreté "dérivation", la soupape de sûreté s'ouvrira et permettra au combustible de retourner au réservoir à combustible, privant ainsi le moteur. La soupape de sûreté "dérivation" est réglée à 827 kPa (120 psi). (4)

II. 5.4. Commandes du moteur

II. 5.4.1. Régulateur

Le régulateur hydraulique à limitation et à rééquilibrages utilisé sur le moteur turbocompressé. Une commande électro hydraulique maintient le régime du moteur choisi par l'opérateur. Le régulateur est pourvu d'un détecteur, sensible à la pression d'air absolue, qui fonctionne pour régler la charge du moteur proportionnellement à l'alimentation d'air, dans la gamme du servo du régulateur de charge à vanne, pour assurer un rapport air/combustible correct. De plus un agencement de culbuteur et de levier est fourni sur le régulateur pour arrêter le mouvement ascendant du piston différentiel par l'action du limiteur de combustible. Le régulateur comporte un dispositif de protection qui arrête le moteur lorsqu'il est actionné par la basse pression d'huile dans le moteur. Un voyant et une alarme sont actionnés s'il y a

panne du dispositif de protection du moteur. D'autres dispositifs auxiliaires qui font partie du régulateur incluent la soupape pilote, qui contrôle l'huile allant au régulateur. Le régulateur a un circuit de graissage et hydraulique indépendant comprenant un carter inférieur, une pompe à engrenages rotatifs et des accumulateurs. (4)

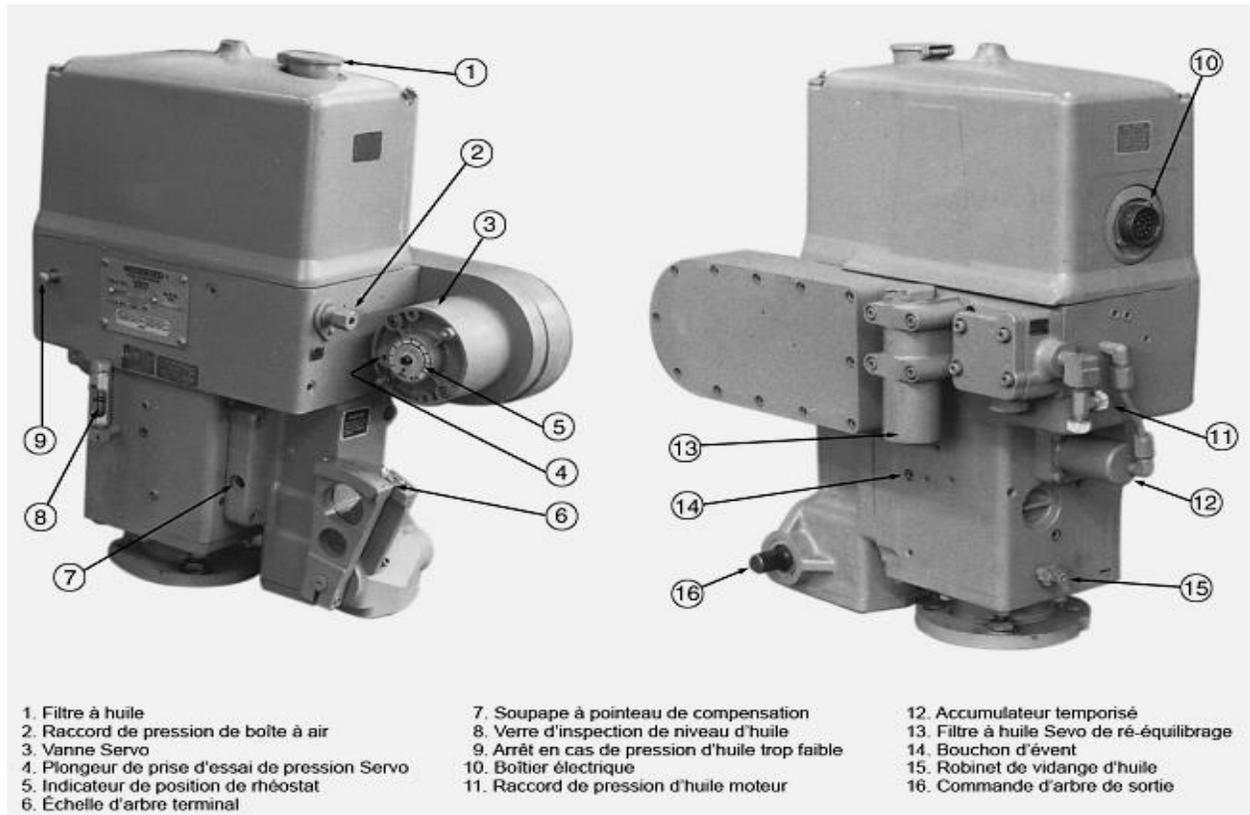


Figure II.18 : Régulateur électro-hydraulique.

II. 5.4.2. Compensation de régulateur

Le mécanisme de compensation empêche le moteur de s'emballer ou d'hésiter en arrêtant le déplacement du piston différentiel après qu'il se soit déplacé suffisamment pour donner la vitesse désirée. Le mécanisme de compensation inclut le piston de compensation intégral, le piston et les ressorts de transformation et un pointeau. Quand le moteur est démarré pour la première fois ou après l'installation d'un régulateur neuf ou remis en état ou d'un qui a été vidangé et nettoyé et dans lequel de l'huile fraîche a été ajoutée, le régulateur nécessitera un réglage de compensation. Ceci est nécessaire pour purger l'air du circuit de graissage du régulateur. (4)

II. 5.4.3. Dispositif d'arrêt du moteur

L'arrêt du moteur peut normalement être accompli en enfonçant le bouton d'arrêt "STOP" ou en plaçant la commande d'accélérateur à la position d'arrêt "STOP". Une façon ou l'autre mettra le solénoïde "D" sous tension. Cette manœuvre enfonce la bague tournante du régulateur de sorte que son orifice soit au-dessous du cordon de la soupape pilote du régulateur. Ceci permet à l'huile confinée au-dessus du piston du ressort d'augmentation de vitesse du régulateur de se vidanger. Le ressort situé sous le piston force le piston du ressort d'augmentation de vitesse vers le haut et la prolonge du piston entre en contact avec la bague de la tige d'arrêt. Le levage de la tige d'arrêt soulève également la soupape pilote du piston différentiel. L'huile sera alors relâchée du dessous du piston différentiel forçant le piston différentiel par l'intermédiaire de la tringlerie connexe à amener les injecteurs à la position "pas de combustible". (4)

II. 5.5. Système EMDEC

Le système EMDEC est un système électronique de contrôle de régime et de régulation de combustible. Il est conçu pour fournir un contrôle optimal des fonctions critiques du turbocompresseur, qui affectent l'économie de combustible, la fumée et les émissions de gaz. Ce système permet aussi de protéger le moteur d'avaries graves résultant de conditions extrêmes de fonctionnement, comme les hautes températures de moteur ou la basse pression d'huile. (4)

II. 5.5. 1. Module de contrôle électronique

Le module de contrôle électronique (MCE) monté sur le moteur fournit le circuit logique de contrôle pour le fonctionnement global de celui-ci. Le MCE reçoit des intrants électroniques de l'interface de la commande d'accélération et des détecteurs du moteur, et utilise cette information pour contrôler le fonctionnement de celui-ci. Le MCE effectue continuellement des vérifications d'auto-diagnostic et supervise les autres organes du système. Les vérifications de diagnostic du système sont effectuées à partir du moment où le disjoncteur de contrôle de moteur est fermé - celui-ci étant ouvert au démarrage et durant tous les modes de fonctionnement du moteur. (4)

II. 5.5.2. Injecteur électronique (EUI)

Les injecteurs électroniques (EUI) remplissent essentiellement la même fonction que les injecteurs mécaniques (MUI). Tous les deux règlent, mesurent, pressurisent et pulvérisent le combustible. Les

fonctions de mesurage et de réglage de l'EUI sont sous le contrôle électrique du système EMDEC, tandis que celles de pressurisation et de pulvérisation sont mécaniquement effectuées par l'intermédiaire d'un plongeur d'injecteur et d'un poussoir actionnés à leur tour par le système de cames et de culbuteurs du moteur. (4)

II. 5.5.3. Détecteurs

Les détecteurs du système EMDEC fournissent des renseignements au MCE maître sur différentes caractéristiques de fonctionnement du moteur. L'information transmise au MCE est utilisée pour réguler le fonctionnement du moteur, actionner le système de protection du moteur et établir des diagnostics. (4)

Les détecteurs suivants sont actuellement fournis avec le système EMDEC :

- Détecteur de référence de calage (DRC)
- Détecteur de référence synchronique (DRS)
- Détecteur de température d'entrée d'air (DTA)
- Détecteur de pression (suralimentation turbo) de la boîte d'air (DPT)
- Détecteur de température de la boîte d'air
- Détecteur de pression d'huile (DPH)
- Détecteur de température d'huile (DTH)
- Détecteur de pression du carter de moteur
- Détecteurs de pression de liquide refroidissant (2) (DPR)
- Détecteurs de pression du combustible (2) (DPC)
- Détecteurs de température du combustible (DTC)

II. 6. Circuit du moteur diesel à deux temps de la locomotive GM (GT 36)

II. 6.1. Circuit de démarrage

Le circuit comprend des démarreurs électriques doubles (moteurs 12 & 16 cylindres), ou un seul démarreur électrique (moteurs 8 cylindres) avec lanceurs renforcés ou un ensemble de démarreurs électriques doubles et de démarreurs pneumatiques doubles (moteurs 20 cylindres) avec le câblage électrique et/ou la tuyauterie pneumatique et les commandes connexes. Les démarreurs électriques

doubles (et pneumatiques doubles) sont montés l'un sur l'autre et boulonnés à des brides qui à leur tour, sont fixées à la plaque arrière aux côtés du moteur. Un démarreur électrique simple sera monté en position levé sur une bride de montage. Un index de volant est boulonné à la surface de la bride. (4)

II. 6.1.1. Démarreur électrique

Quand la séquence de démarrage du moteur électrique est commencée, le solénoïde est mis sous tension. Le plongeur du solénoïde est entraîné dans le solénoïde et le doigt inférieur de la tringlerie pousse l'embrayage pour accoupler le pignon à la couronne dentée qui est montée sur le volant du moteur. Le pignon restera accouplé jusqu'à ce que le commutateur de démarrage soit relâché. Si l'accouplement entre le pignon et la couronne dentée est fait correctement, le plongeur du solénoïde se sera déplacé au bout de sa course vers la fin de sa course, le plongeur du solénoïde ferme les contacts à l'intérieur du boîtier du solénoïde. Ceci permet aux circuits de commande de mettre sous tension un contacteur de démarrage auxiliaire, qui permet au démarreur de lancer le moteur. (4)

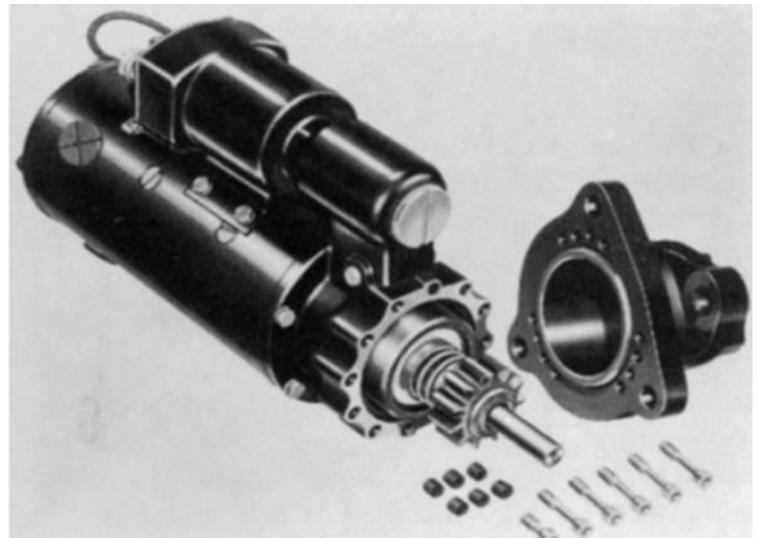


Figure II.19 : Démarreur électrique.

II. 6.2. Circuit de graissage

Le circuit de graissage principal fournit l'huile sous pression à la plupart des pièces mobiles du moteur. L'huile de la pompe se rend dans le collecteur d'huile principal qui est situé au-dessus du vilebrequin, et s'étend le long du moteur. La pression d'huile maximale est limitée par un clapet de décharge logé dans le conduit entre la pompe et la tubulure de graissage principal.

Des tubes d'huile au centre de chaque support pyramidal de vilebrequin amènent l'huile de la tubulure principale à la coquille supérieure des paliers de vilebrequin. Les canalisations pratiquées dans le vilebrequin fournissent l'huile aux coussinets de bielle, à l'amortisseur de vibrations et au pignon

d'entraînement d'équipement accessoire à l'avant du vilebrequin. L'huile s'écoulant des paliers lubrifie les roulements de butée adjacents du vilebrequin. (4)

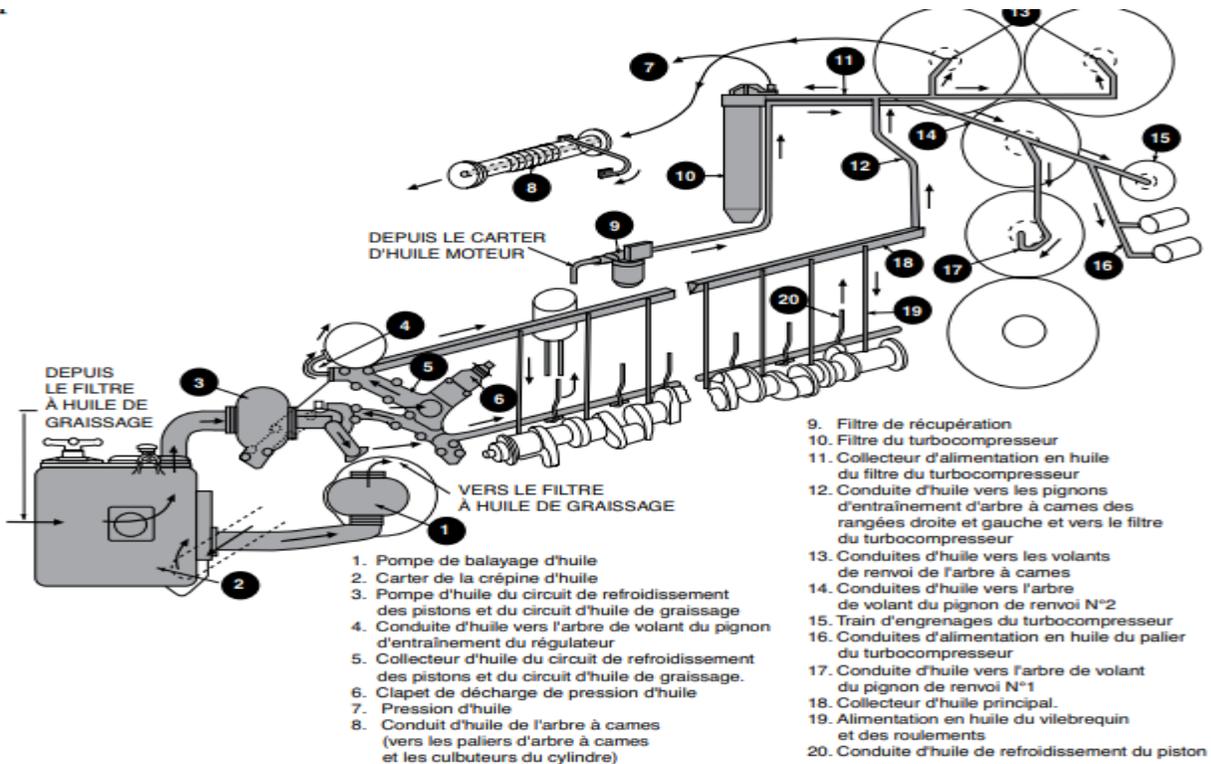


Figure II.20 : Circuit de graissage.

II. 6.2.1. Tubulure de graissage principale et de refroidissement de piston

La tubulure de graissage principal et de refroidissement des pistons est une pièce en fonte moulée en un seul bloc et aménagée de conduits. La tubulure est montée et retenue en place avec des goujons sur le couvercle avant, sous le couvercle de la prise de mouvement de l'équipement accessoire. Des tubes de raccordement traversant le couvercle de la prise de mouvement de l'équipement accessoire et protégés contre les fuites par des joints annulaires, relie la tubulure à un coude de décharge (sur les moteurs 8, 12 et 16 cylindres) ou à une tubulure ramifiée en « Y » (sur les moteurs 20 cylindres). (4)

II. 6.2.2. Clapet de décharge

Le clapet de décharge est installé sur la tubulure de graissage à l'intérieur du carter de la distribution de l'équipement accessoire sur le côté gauche du moteur. On accède au clapet pour en faire l'inspection et le réglage en déposant le protège - moteur.

La fonction du clapet est de limiter la pression d'huile admise dans le circuit de graissage du moteur. Quand la pression de la pompe à huile dépasse la tension du ressort du clapet, le clapet sera soulevé de son siège et laissera s'échapper l'excès de pression. Cette huile se vidange dans le carter de l'équipement accessoire et puis dans le carter d'huile. (4)

II. 6.2.3. Tuyau de refroidissement des pistons

Le tuyau de refroidissement des pistons est boulonné à une extrémité à un raccord de la tubulure de refroidissement des pistons et à l'autre extrémité au bas de la chemise de cylindre. À chaque cylindre il y a un tuyau qui dirige un jet d'huile à travers le porte-piston vers le dessous de la tête du piston. L'alignement du tuyau de refroidissement des pistons est très important. (4)

II. 6.2.4. Vérification de la viscosité d'huile

La viscosité d'huile devrait être vérifiée à intervalles réguliers. En comparant la viscosité prise à intervalles différents mais à la même température, il est possible de détecter la dilution excessive du combustible qui se manifeste par une dégradation exceptionnelle de la viscosité. L'oxydation excessive de l'huile peut être détectée par une augmentation exceptionnelle de la viscosité durant les intervalles de vidange recommandés. Les limites de viscosité sont directement reliées au type d'huile utilisée et aux types d'essai de viscosité effectués. Les fournisseurs d'huile donneront ces valeurs, lesquelles devraient correspondre à un maximum de dilution de combustible de 5% et à une augmentation de viscosité de 35%. Pour protéger le moteur on devrait examiner soigneusement l'huile et l'état des éléments du circuit et prendre des mesures correctives si nécessaire. (4)

II. 6.2.5. Changement d'huile

On devrait vidanger l'huile de graissage du moteur, remplacer les filtres, et nettoyer les crépines et tamis aux intervalles indiqués dans le programme d'entretien normal. Avant de vidanger l'huile vérifier sa viscosité pour déceler tout signe de dilution par le combustible. S'il y a fuite de combustible, elle devrait être rectifiée avant de remplir le moteur d'huile fraîche. (4)

II. 6.2.6. Carter des crépines d'huile

Le carter des crépines d'huile utilisé sur les moteurs 8, 12 et 16 cylindres est un grand carter d'aluminium en forme de boîte monté sur le côté avant droit du moteur, sur le couvercle de la prise de mouvement de l'équipement accessoire. Il contient des crépines indépendantes pour l'huile de la pompe

principale et la pompe de reprise. Il y a deux crépines pour l'huile de la pompe principale et un tamis pour l'huile de la pompe de reprise avec entrée et décharge séparées pour chacun des circuits. (4)

II. 6.2.7. Séparateur d'huile

Le séparateur d'huile est un carter cylindrique contenant un élément filtrant en treillis métallique. Il est monté sur le boîtier d'entraînement auxiliaire. La succion de soufflante aspire les vapeurs huileuses du moteur à partir du carter d'huile en passant par le carter de la distribution arrière dans l'élément séparateur. L'huile se dépose sur l'élément et retourne dans le moteur. (4)

II. 6.2.8. Pompe principale et pompe de refroidissement des pistons

La pompe principale et la pompe de refroidissement des pistons sont logées dans un boîtier. Sur les moteurs 8, 12 et 16 cylindres, les deux pompes sont séparées par une tôle séparatrice placée entre les sections du corps de la pompe. Chaque pompe a son entrée d'huile et orifice d'évacuation individuels. Les pignons à l'extrémité de la pompe de refroidissement des pistons sont plus étroits que les pignons de la pompe de graissage. Les pompes de graissage et de refroidissement des pistons sont montées dans le centre du boîtier de la prise de mouvement et sont entraînées par le pignon de la prise de mouvement. (4)

II. 6.2.9. Pompe de reprise

La pompe de reprise est une pompe à pignon hélicoïdal à mouvement positif. Le corps de la pompe fendu en travers pour faciliter l'entretien, contient des ensembles de pignons appariés. Les pignons d'entraînement sont fixés sur l'arbre du pignon d'entraînement de pompe par des clavettes. L'arbre intermédiaire est maintenu immobile dans le boîtier par une vis de retenue et les pignons entraînés de la pompe tournent sur cet arbre sur des coussinets enfoncés dans les alésages de pignon.

L'arbre de transmission tourne dans les coussinets enfoncés dans le corps de la pompe. Ces coussinets sont équipés d'arrêtors de butée qui dépassent légèrement au-dessus du corps de la pompe et absorbent la butée des pignons d'entraînement. La pompe de reprise est montée sur le boîtier de l'équipement accessoire en ligne et à la gauche du vilebrequin, et est entraînée par le pignon de la prise de mouvement. (4)

II. 7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous détaillons les principaux composants et le fonctionnement des systèmes mécaniques et électriques des locomotives GT36CW/GT36HCW, et on a conclu que ces locomotives sont équipées de systèmes conçus avec une technologie très complexe, elles comportent un moteur diesel 645 à deux temps de grande capacité qui produit une vitesse pouvant atteindre 900 tr/min.

Chapitre III

Les méthodes d'analyse et de Résolution de Problème

Chapitre III

Les méthodes d'analyse et de résolution de problèmes

III. 1. Introduction

Les problèmes sont au cœur de la culture et font partie du quotidien des sites de production. Une démarche de résolution de problème structurée et suivie sur le terrain permet d'améliorer durablement la performance industrielle.

Le présent chapitre permet de mieux comprendre les différentes méthodes d'analyse et de résolution de problèmes.

III. 2. Méthodes d'analyse et de résolution de problèmes

Les méthodes structurées permettent de cerner et résoudre un problème de façon durable. Elles suivent le plus souvent la démarche de résolution de problème évoquée ci-dessus et se décomposent en plusieurs étapes. (5) Les plus connues sont :

III. 2.1. Méthode 8D

Artillerie lourde de la résolution de problème, le 8D se compose en 8 étapes

- D1 : Constitution de l'équipe
- D2 : Décrire le problème
- D3 : Identifier et mettre en place des actions immédiates/Sécurisation
- D4 : Déterminer les causes du problème
- D5 : Déterminer les actions correctives définitives et permanentes
- D6 : Mise en œuvre des solutions
- D7 : Eviter la réapparition du problème ailleurs
- D8 : Félicitations des équipes

III. 2.2. Méthode PDCA

Se compose en 4 étapes

- **Plan** : Cette étape consiste à analyser les données/problèmes et à planifier les actions à mettre en place
- **Do** : Déployer/implémenter les actions définies dans l'étape 1
- **Check** : Contrôler le résultat des actions effectuées. Comparer les résultats avec ceux attendus
- **Act** : Ici soit les résultats sont ceux attendus, soit il faut adapter la solution et revenir à l'étape "Do"

III.2.3. Méthode DMAIC

Se compose en 5 étapes

- Définir
- Mesurer
- Analyser
- Améliorer
- Contrôler

III. 2.4. Méthode QRQC (Quick Réponse Qualité Control)

Plus qu'une méthode, c'est un état d'esprit. Cette méthode permet de garantir une réponse rapide (Quick réponse) et également une résolution du problème en profondeur (Qualité control). Ci-dessous une schématisation du procédé.

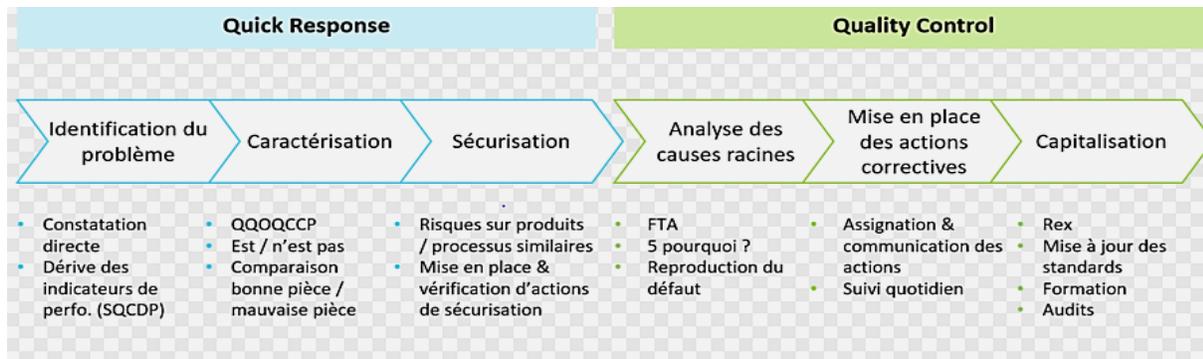


Figure III.1 : Schématisation du procédé.

III.2.5. Méthode CARRE D'AS

- Choisir un problème
- Analyser le problème
- Rechercher les causes
- Rechercher les solutions
- Essayer / Tester les solutions
- Décider quelle solution mettre en œuvre
- Appliquer la solution et Suivre les résultats

III.2.6. Méthode des 5 Pourquoi

Utilisée principalement pour identifier la cause racine, cette méthode consiste à se demander "Pourquoi" jusqu'à remonter à la source du problème. Par exemple :

- Pourquoi la pièce était défectueuse ? Réponse : Un défaut d'usinage
- Pourquoi un défaut d'usinage est apparu ? Réponse : La machine n'était pas réglée correctement
- Pourquoi les réglages n'étaient pas corrects ? Réponse : Les instructions étaient ambiguës pour la situation donnée
- Etc jusqu'à remonter à l'origine du problème.

III.2.7. Méthode QQQQCP

QQQQCP est un sigle qui signifie « Qui ? Quoi ? Où ? Quand ? Comment ? Pourquoi ? ». Est une méthode d'analyse par questionnement des caractéristiques fondamentales d'une situation. Ces questions simples permettent de se doter d'éléments factuels qui une fois assemblés, permettent de constituer une représentation universelle : (6)

- D'un évènement
- D'un intérêt
- D'une situation
- D'un contexte

III.2.8. Graphique de Yamazumi

Signifiant « pile ordonnée » en japonais le graphique de « Yamazumi » est un outil permettant, à l'aide d'un graphique, de représenter en piles les tâches réalisées sur chaque poste de travail d'une ligne de fabrication tout en y indiquant leur valeur ajoutée.

Le graphique sur lequel les tâches sont représentées se construit de la manière suivante :

- En abscisse seront placés les différents postes de production dans l'ordre du processus.
- En ordonnée sera donnée une notion de « temps » de réalisation des tâches.

La première étape pour réaliser un graphique de Yamazumi sera donc de lister les tâches réalisées sur chaque poste de travail. Une fois cette collecte faite, il vous faudra mesurer le temps de réalisation propre à chacune de ces tâches. Pour cela il vous faudra impérativement des données issues du Genba !

Lorsque vous avez toutes ces données il est temps de renseigner le graphique en empilant les tâches par poste tout en respectant l'ordre de réalisation.

Enfin une fois toutes les tâches positionnées il vous faudra indiquer la valeur ajoutée de chacune de ces tâches. Pour cela vous avez trois codes couleur à votre disposition :

- **Vert** : tâche à valeur ajoutée.
- **Orange** : tâche sans réelle valeur ajoutée mais indispensable au processus.
- **Rouge** : tâche sans valeur ajoutée et non indispensable au processus. (7)

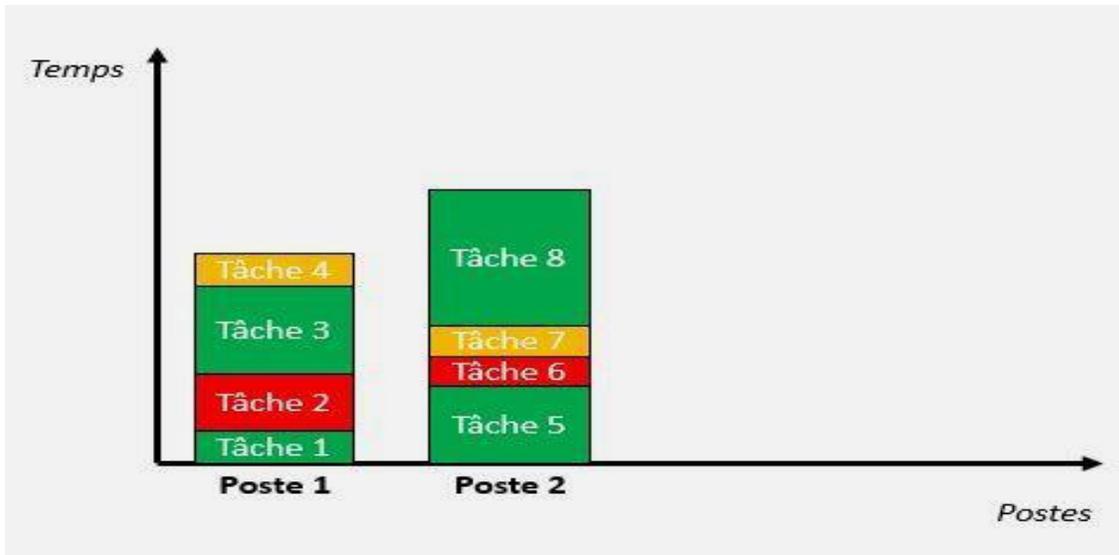


Figure III.2 : Graphique de Yamazumi.

III.2.9. Check-List

Vraisemblablement l'outil le plus simple mais pas sans utilité, la Check-List permet bien sûr de lister les étapes importantes.

III.2.10. Diagramme d'Ishikawa

Il permet d'identifier les causes d'une certaine situation.

- Définir l'effet à observer : phénomène défaut, caractéristique du produit ou du procédé.
- Tracer une flèche de gauche à droite en direction de l'effet.
- Décrire les facteurs principaux qui sont les causes potentielles de ce qui est observé
- Généralement les 5M ci-dessous (+éventuellement Management et Moyens financiers)

III. 3. Diagramme d'Ishikawa

III.3.1. Introduction

Le diagramme d'Ishikawa est une illustration graphique en forme d'un poisson dont la tête représente le problème ou l'effet proprement dit et les différentes arêtes, 5 en général, affichant chacune une catégorie de causes éventuellement à l'origine d'un problème.

Il est à signaler au passage qu'à partir de ces causes primordiales ou primaires peuvent émerger des causes secondaires ou causes racines. (8)

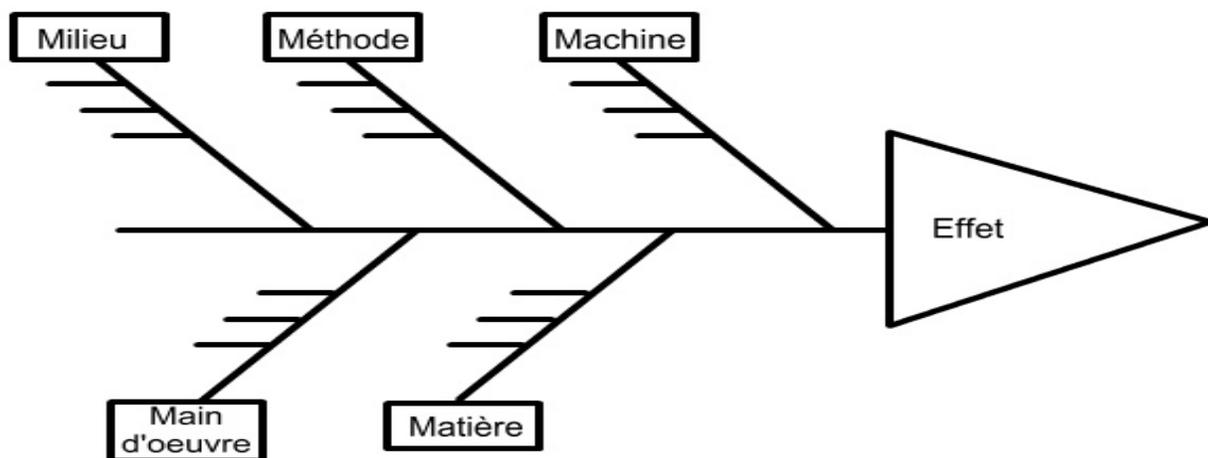


Figure III.3 : Diagramme d'Ishikawa.

III.3.2. Diagrammes d'Ishikawa des 5 M

Le Diagramme d'Ishikawa est composé grosso modo de 5 sources principales de problématiques, dysfonctionnements ou événements, à savoir : Main d'œuvre, Matières, Matériel ou Machines, Méthodes, et Milieu. (8)

A. Main d'œuvre

Il s'agit de toute personne impliquée, d'une façon ou d'une autre, dans le projet, mission ou événement étudié : dimension d'aptitudes, niveau de connaissances, degré de compétences, échelle de motivation, portée d'influence, effectif du personnel, hauteur de coordination, département concerné, organigramme, organisation des équipes

B. Matières

Il est question ici de toutes les composantes de produits, matières, constituants, substances ou denrées indispensables à un projet, mission ou événement : matières premières, quantité et qualité des denrées, entrées de processus, papier, internet, électricité, eau, packaging, informations...

C. Matériel ou Machine

Il s'agit à ce niveau de tous les outils, machines et équipements nécessaires à bien mener un projet, activité ou événement : machines, moyens de transport, matériels informatiques, photocopieurs, imprimantes, fax, téléphones, bureaux, salles...

Autrement dit tout l'arsenal indispensable à la réalisation du travail et engendrant en principe des budgets d'investissements notables.

D. Méthodes

On fait allusion à ce titre aux méthodes de travail, procédures mises en place, organisation des tâches, aux descriptifs des jobs, marches à suivre, recherches et développement, logique de processus, planning des activités, systèmes politiques et culturels à respecter...

E. Milieu

Ce 5ème M du diagramme d'Ishikawa désigne tout l'environnement, quel qu'il soit, qui peut avoir de l'impact sur l'accomplissement du projet, de l'activité ou de l'événement : la chaleur, le froid, les intempéries, le lieu du travail, le domaine d'activité, le marché, la concurrence, les paramètres politiques, la législation, les facteurs socioéconomiques, technologiques, démographiques (PESTEL)...

III. 3.3. Diagrammes d'Ishikawa des 7M

Autre variante de l'analyse Ishikawa : Les 7M.

Dans ce cas, outre les 5M du diagramme d'Ishikawa, on tient compte en termes de deux autres catégories, à savoir : « Moyen financier », décrit précédemment, et aussi l'ensemble des causes en relation avec la thématique « Management ». (8)

F. Management

Méthodes d'encadrement, style de commandement, délégation, organigramme imprécis. (9)

G. Moyens financiers

Budget alloué, coûts. (9)

III.3.4 Métrologie (étape) de construction d'un diagramme d'Ishikawa

1) Placer une flèche horizontalement



- pointée vers le problème identifié ou le but recherché. Prenons par exemple, une non vente ou l'amélioration d'un service.

2) Regrouper les causes potentielles en familles, appelées communément les cinq M.

- Matière : M1. Recense les causes ayant pour origine les supports techniques et les produits utilisés.
- Main d'œuvre : M2. Problème de compétence, d'organisation, de Management.
- Matériel : M3. Causes relatives aux Machines, aux équipements et Moyens concernés.
- Méthode : M4. Procédures ou modes opératoires utilisés.
- Milieu : M5. Environnement physique : lumière, bruit, poussière, localisation, signalétique.

3) Tracer les flèches secondaires correspondant au nombre de familles de causes potentielles identifiées, et les raccorder à la flèche principale.

- Chaque flèche secondaire identifie une des familles de causes potentielles.

4) Incrire sur des mini-flèches, les causes rattachées à chacune des familles. Il faut veiller à ce que toutes les causes potentielles apparaissent.

5) Rechercher parmi les causes potentielles exposées, les causes réelles du problème identifié. Ce sera notamment la cause la plus probable qu'il restera à vérifier dans la réalité et à corriger. (10)

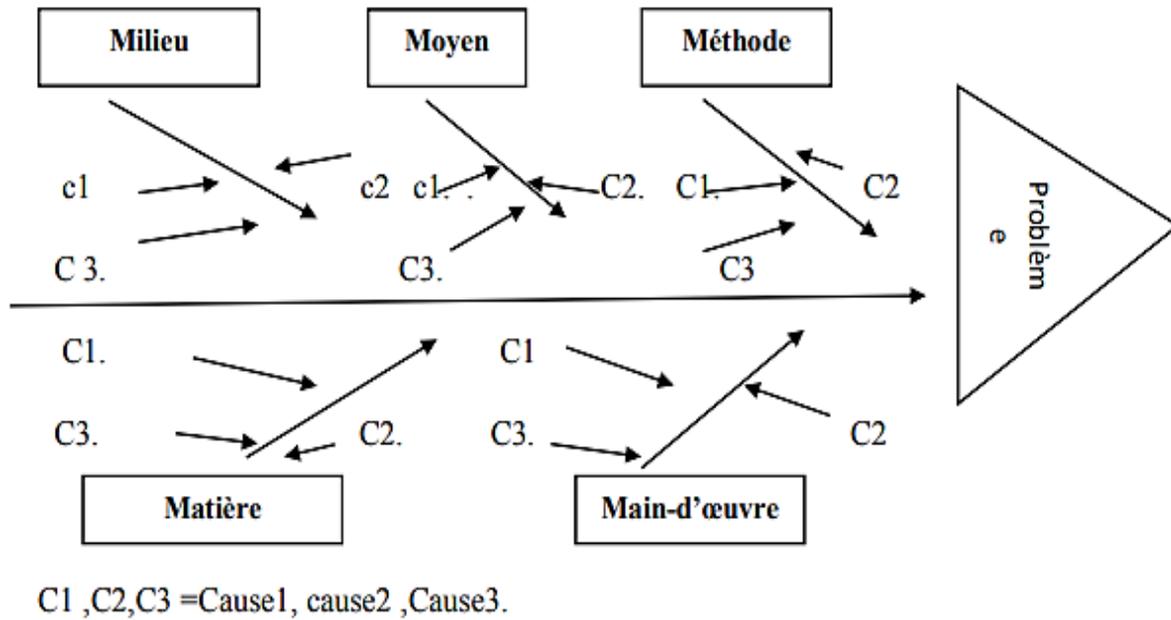


Figure III.4 : Diagramme d'Ishikawa ou diagramme des 5M.

Le diagramme d'Ishikawa au départ limite à 5M peut être étendu à un diagramme des 7M

Types de causes

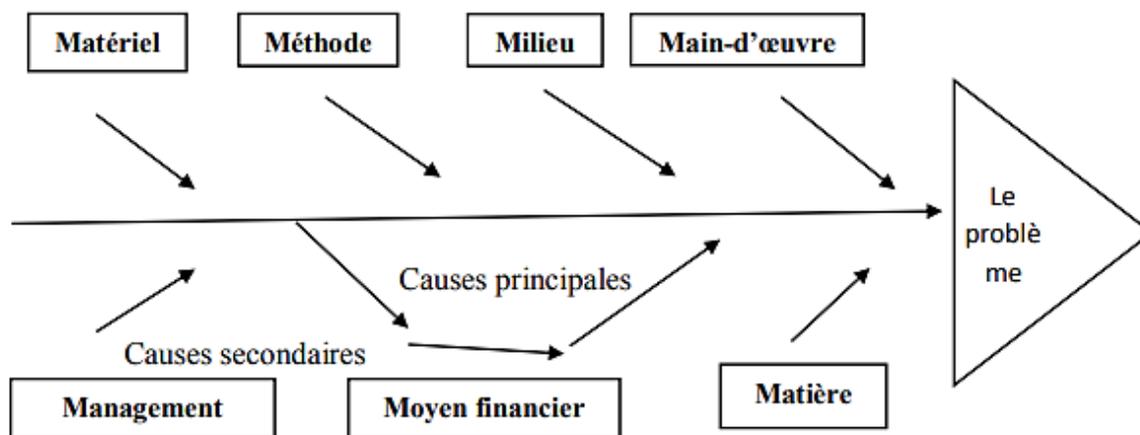


Figure III.5 : Diagramme d'Ishikawa ou diagramme des 7M.

III. 4. Conclusion

Cet outil provient du domaine industriel et des démarches qualité. Les termes peuvent sembler inappropriés au domaine éducatif. Il est possible de changer les termes utilisés, mais pas les catégories. Ainsi il faut alors dans un second temps revenir aux termes originaux pour vérifier si l'on a bien envisagé tous les types de causes possibles.

Chapitre IV :
Cas d'application sur le moteur diesel
à deux temps d'un locomotive
GM(GT36)

Chapitre IV

IV. Cas d'application

IV.1. Introduction

Le présent chapitre permet de mieux comprendre les différentes étapes par lesquelles nous sommes passés et de justifier les choix que nous avons faits tout au long du processus.

IV. 2. Classification des Pannes (défaillances) des organes des moteurs diesel de locomotive GM (GT36)

Parmi les pannes les plus répondus du moteur diesel a deux temps de locomotive GM (GT36) le dégagement de la fumée. Nous avons recherché tous les incidents possibles de ce problème et donné leurs causes et leurs remèdes recommandé.

Le Tableau IV.1 représente la Classification des Pannes du moteur de locomotive GM(GT36).

Tableau. IV.1. Désignation des incidents et les causes et remède

Tableau. IV.1. Désignation des incidents et les causes et remède

Incident	Cause possible	Vérification ou Remède Recommandé
Moteur émettant une fumée noire ou grise (peut être accompagné d'une perte de puissance)	a. Mal fonctionnement du turbocompresseur.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Inspecter la turbine d'admission pour déceler les dommages. ➤ Inspecter l'état du tamis d'admission de l'échappement et nettoyer si nécessaire. ➤ Inspecter l'intérieur du collecteur d'échappement pour déceler les saletés. ➤ Inspecter les pales d'échappement de la turbine et vérifier le turbocompresseur.
	b. Panne du système d'alimentation.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Vérifier le niveau de combustible dans le réservoir d'alimentation. ➤ Amorcer le système d'alimentation du moteur et vérifier l'écoulement au retour de combustible. ➤ Démarrer le moteur et le laisser atteindre sa température de fonctionnement normal. Vérifier le débit ou la pression du système d'alimentation.

Moteur émettant une fumée noire ou grise (peut être accompagné d'une perte de puissance) - (suite)	c. Réglage incorrect des soupapes d'échappement.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Vérifier le réglage des soupapes d'échappement sur les deux rangées de cylindres.
	d. Restrictions de la circulation dans la boîte d'air.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Examiner le conduit d'air et les régions de la boîte d'air pour déceler les restrictions importantes. ➤ Rechercher dans la boîte d'air les accumulations excessives de saletés bloquant les orifices d'admission d'air de la chemise. ➤ Sur les unités turbocompressées, s'assurer que les conduits d'air des post-refroidisseurs ne sont pas bloqués ni bouchés.
	e. Mal fonctionnement des éléments de la partie supérieure.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Inspecter tous les injecteurs, crémaillères et poussoirs. ➤ S'assurer que toutes les crémaillères d'injecteurs soient engagées dans les doigts de transmission et que toutes les chevilles et tringleries soient en place et correctement serrées. ➤ Examiner les canalisations de combustible, les culbuteurs et les étriers des soupapes d'échappement pour déceler toute anomalie.
	f. Mal fonctionnement du régulateur.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Le moteur tournant à la température de fonctionnement normal et n'étant pas sous charge, avancer lentement la commande d'accélérateur depuis le ralenti jusqu'au régime maximal. ➤ S'assurer que le moteur atteigne tous les régimes délicatement. ➤ Vérifier le régime maximal de moteur avec un tachymètre à main.
	g. Les Segments sont en état de défaillance ou élément de groupe moteur défectueux.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Effectuer une inspection complète de la boîte d'air. ➤ Examiner attentivement pour déceler les segments de compression cassés.
Moteur émettant une fumée noire ou grise (peut être accompagné d'une perte de puissance) -	h) Filtre à air colmaté (non propre)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Nettoyer le filtre à air ➤ Changer le filtre à air systématiquement

(suite)		
	i. Réglage de la pompe d'injection	➤ Contrôle de la pompe par un professionnel
	j. Mauvaise qualité du gasoil	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Vider le réservoir puis faire le plein ➤ Utiliser du gasoil de bonne qualité ➤ Utiliser des produits pour traiter le gasoil
	k. Mauvaise inflammation du mélange	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Vérifier la qualité de gasoil ➤ Voir s'il y a un déséquilibre entre la quantité d'air et de carburant ➤ Vérifier les injecteurs et les bougies
	l. Injecteurs défectueux	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Contrôle de la pression de tarage, de la forme du jet et de l'étanchéité des injecteurs si défectueux l'échanger ➤ Vérifier tous les numéros de pièce d'injecteurs pour s'assurer qu'ils conviennent à cette installation.

IV. 3. Analyse du problème de la fumée noire ou grise au collecteur d'échappement d'un moteur diesel à deux temps d'une locomotive GM (GT36)

Nous avons choisi d'étudier les pannes du moteur diesel à deux temps d'une locomotive (GM GT 36) dans le but de déterminer les pannes et les anomalies courantes qui produisent le problème de la fumée noire ou grise au collecteur d'échappement, pour pouvoir formuler et résoudre ce problème on procède à l'utilisation de deux méthodes d'analyse des causes et effets (Méthode d'Ishikawa M5 et M7). Pour cela nous avons procédé au classement des pannes en quelques grandes familles, et pour chacune nous avons dénombré les causes probables de ces pannes pour déterminer les effets de ces causes, pour les remédies et recommander.

IV. 3.1. Application des méthodes d'ISHIKAWA 5M et 7 M

IV. 3.1.1. Introduction

Le diagnostic de ce projet est basé sur l'application des deux méthodes M5 et M7 et sur le traçage du diagramme d'Ishikawa 7M, sur lequel sont portés tous les éléments pouvant contribuer à

l'effet de la fumée noire ou grise. Ce diagramme permet de classer les différents éléments susceptibles de causer la fumée noire ou grise. Ainsi que, de chercher les défaillances par l'analyse du rapport existant entre un problème (effet) et toutes ses causes possibles.

Ces différents causes et effets seront également étudiés par le brainstorming en utilisant le diagramme d'Ishikawa.

IV. 3.1.2. Brainstorming

Le brainstorming consiste à rassembler un groupe de personnes choisies à qui l'on demande d'exprimer librement leurs idées, pensées et intuitions sur un ou plusieurs thèmes. Le but du brainstorming est qu'un maximum d'idées, de suggestions, de propositions de solutions, soient générées sur un sujet donné. L'hypothèse de base est qu'il sera plus facile de rendre applicable une idée créative que de générer une solution créative à partir d'une idée « banale ». Aussi, le brainstorming entend faire émerger un maximum d'idées et cet impératif doit primer sur la qualité intrinsèque des idées formulées.

D'après le brainstorming on a proposé le maximum d'idée et de solutions sur le problème de la fumée noire et grise ou niveaux de collecteur d'échappement, qui sont présenté ci- dessous :

- Mal fonctionnement des éléments de la partie supérieure ;
- Mal fonctionnement du régulateur ;
- Mal fonctionnement du turbocompresseur ;
- Panne du système d'alimentation ;
- Réglage incorrect des soupapes d'échappement ;
- Restrictions de la circulation dans la boîte d'air ;
- Les Segments sont en état de défaillance ou élément de groupe moteur défectueux ;
- Injecteurs défectueux ;
- Surcharge du moteur ;
- Filtre à air colmaté (non propre) ;
- Réglage de la pompe d'injection ;
- Mauvaise qualité du gasoil ;
- Mauvaise inflammation du mélange.

IV. 3.1.3. Classification des causes possibles en cinq familles (5M)

a. Matière

- Mauvaise qualité du gasoil ;
- Mauvaise inflammation du mélange ;
- La fragilité des joints d'étanchéité.

b. Machine

- Mal fonctionnement des éléments de la partie supérieure ;
- Mal fonctionnement du régulateur ;
- Mal fonctionnement du turbocompresseur ;
- Les Segments sont en état de défaillance ou élément de groupe moteur défectueux ;
- Injecteurs défectueux ;
- Filtre à air colmaté (non propre).

c. Méthode

- Panne du système d'alimentation ;
- Surcharge du moteur.

d. Main d'œuvre

- Réglage incorrect des soupapes d'échappement ;
- Réglage de la pompe d'injection ;
- Segments de piston installés incorrectement.

e. Milieu

- Restrictions de la circulation dans la boîte d'air ;
- La présence du sable au niveau des organes de puissances.

IV. 3.1.4 Classifications des causes et établissement du Diagramme d'Ishikawa (7M)

Dans ce cas, outre les 5M du diagramme d'Ishikawa, on tient compte en termes de deux autres catégories, à savoir : « Moyen financier », décrit précédemment, et aussi l'ensemble des causes en relation avec la thématique « Management ».

a. Management

- Mauvaise encadrement de l'agent de maintenance ;
- Absence du contrôle efficace des travaux réalisés par les agents ;
- Augmentation de la productivité et optimiser la qualité ;
- Réduire la durée des cycles de maintenance.

b. Moyens de financiers

- Le budget de maintenance reste insuffisant ;
- L'augmentation de coût des pièces de rechange ;
- La mauvaise gestion des dépenses de la maintenance ;
- La justesse des postes budgétaires.

IV. 3.1.4.1. Diagramme d'Ishikawa 7M

La figure (IV .1) ci-dessus représente le diagramme d'ISHIKAWA (7M) :

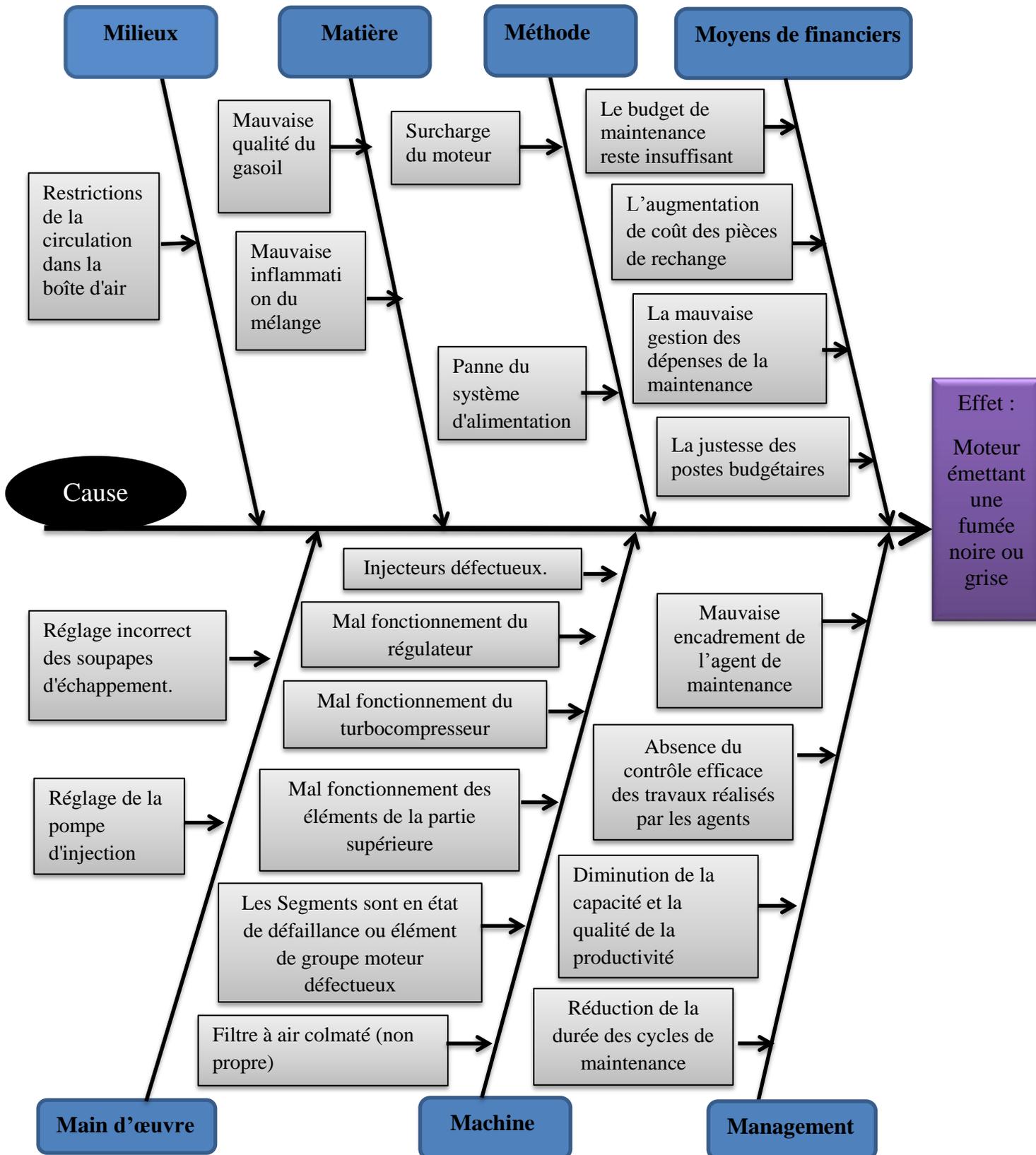


Figure IV.1 : Diagramme d'ISHIKAWA 7M

IV. 3.1.5. Analyse des résultats du diagramme d'ISHIKAWA 7M

a. Matière

Qst : Pour quoi en avoir une mauvaise inflammation du mélange ?

Rép : ce problème venant d'un excès de carburant, Au d'une mauvaise qualité du gasoil.

Qst : Pourquoi en avoir un endommagement des joints d'étanchéité ?

Rép : Vu que les matériaux utilisés ici ne sont pas nécessaires. Parfois, l'atelier se tourne vers l'achat de pièces détachées non originales et fragiles. C'est parce que les pièces d'origine ne sont pas en stock. Il faut du temps pour importer des pièces d'origine. Si disponible, l'équipage installera les pièces de rechange d'origine. Sinon, ils installeront des pièces fragiles non d'origine.

Pro : Il est préférable d'utiliser la gestion des stocks pour éviter les ruptures de stocks et les stocks excessifs de pièces de rechange.

Qst : pourquoi y a-t-il une mauvaise qualité du gasoil a l'intérieure du moteur ?

Rép : souvent des additifs dépassant la quantité autorisée sont utilisés, causant ainsi des dommages aux véhicules et s'attaquant au composant du moteur et au pot d'échappement. En outre une teneur en soufre est parfois supérieure aux normes européennes.

Pro : donc il faut Vider le réservoir puis faire le plein en utilisant du gasoil de bonne qualité. et la vérification du circuit d'alimentation devient nécessaire.

b. Machine

Qst : pourquoi les Segments sont en état de défaillance ?

Rép : la défaillance est due à l'étroitesse des pipes d'admission qui causerait une dépression dans les cylindres, bousillant les segments racleur et augmentant la consommation d'huile.

Qst : pourquoi les segments cassés ou élément de groupe-moteur défectueux ?

Rép : après l'inspection et le démontage des organes de puissance on trouve que les segments sont casée qui provoque les passages d'huile de graissage des pistons au chambre de combustion et l'huile n'a pas sa place dans la chambre de combustion ou il ne y avoir que l'air, du carburant et une étincelle.

Pro : il est nécessaire de placer les segments neuf après chaque remontage des organes de puissance et de vérification que y a aucune présence des corps étrangère dans la boîte à air.

Qst : pourquoi les Injecteurs sont défectueux.

Rép : la panne d'injecteur se produire dans le cas d'impuretés dans le circuit, l'injection sera modifiée, admission bouchée et régulation défectueuse envoyant trop de carburant ou fonctionnement chaotique

Pro : choisissez du carburant de qualité, ne laissez jamais le réservoir presque vide, purgez les filtres et utilisez de l'huile de qualité et Faire l'essai de pression de tous les injecteurs.

Qst : quelle sont les causes qui font le mal fonctionnement du turbocompresseur ?

Rép : parmi les raisons en a trouvé que la cause est due à l'adhérence de la saleté à l'intérieur du collecteur d'échappement.

Qst : pourquoi l'intérieur du collecteur d'échappement est encrassé ?

Rép : En voit que la raison est due à l'accumulation des gaz émis, et le retarde de l'Inspectassions de l'état du tamis d'admission de l'échappement et les pales d'échappement de la turbine et vérifier le turbocompresseur après le nettoyer.

Pro : Inspecter la turbine d'admission pour déceler les dommages, vérifier l'état du tamis d'admission de l'échappement et nettoyer tout qui est nécessaire.

c. Méthode

Qst : Dou vient les pannes de systèmes d'alimentation ?

Qst : Pourquoi la défaillance d'une partie de système d'alimentation provoque une fumée noire ou grise au niveau du collecteur d'échappement ?

Rép : nous avons constaté que cette panne se produisait quand le débit de gasoil est insuffisant à cause de l'installation incorrecte des verres d'inspection du filtre secondaire de gasoil.

Qst : pourquoi la pression et le débit de gasoil sont insuffisant ?

Rép : En a trouvé ici que quand le niveau de combustible et base ou il y a une prise d'air sur le circuit de gasoil conduit à une mauvaise combustion, donc se produire une panne d'alimentation

Pro : quand le moteur prêt pour le démarrage normal, Vérifier le niveau de combustible dans le réservoir d'alimentation et Vérifier la pression du combustible. Après Démarrer et laisser le moteur

tournant à la température de fonctionnement normal et Vérifier le débit ou la pression du système d'alimentation.

Donc il faut bien appliquer le programme d'entretien et les notices techniques proposées par le constructeur.

d. Main d'œuvre

Qst : Pourquoi on a de mauvais réglage des soupapes d'échappement et de la pompe d'injection ?

Rép : En trouve que ce problème est venant de manque d'expérience des opérateurs. Ces opérations nécessitent des techniciens spécialisés et leur absence provoque ces problèmes.

Pro: Il faut une gestion de ressources humaines pour connaître les compétences disponibles et les compétences manquantes.

e. Milieu

Qst : Pourquoi en avoir une restriction de la circulation dans la boîte d'air à cause de milieu externe?

Rép: Ces problèmes surviennent souvent dans les moteurs de locomotives qui roulent dans des zones ensablées ou poussiéreuses. Le sable et la poussière s'accumulent sur la surface de moteur, cela provoque un dysfonctionnement du moteur au fil du temps.

Qst : Pourquoi ces facteurs affectent le fonctionnement du moteur ?

Rép : Dans ces zones, on remarque que le sable et la poussière s'accumulent sur la surface de filtre à air, les saletés bloquant les orifices d'admission d'air de la chemise et les conduits d'air des post-refroidisseurs sont bouchés, ce qui affecte le fonctionnement du moteur.

Pro : Il est nécessaire de nettoyer ou d'échanger le filtre à air à leur dite, et créer une gestion périodique de nettoyage fournir aux locomotives qui roulent dans des zones sablées.

f. Management

Qst : pourquoi l'augmentation de la productivité et l'optimisation de la qualité provoque une panne ?

Rép : l'augmentation de la productivité sans prendre en considération la qualité entraîne une mauvaise planification et un mauvais ordonnancement des étapes de production.

Pro : les innovations doivent être soutenues pour augmenter la production et réduire les coûts en tenant compte de la qualité.

Qst : pourquoi y a-t-il une réduction de la durée des cycles de maintenance

Rép : La pression que subissent les sections de réparation sur différents organes ou machines les conduit à négliger la durée des cycles de maintenance ou le cycle lui-même qui provoque plusieurs problèmes techniques.

g. Moyens de financiers

Qst : pourquoi l'augmentation de coût des pièces de rechange provoque des pannes ?

Rép : Les prix élevés des pièces de rechange importées en plus de l'expédition et du transport incitent l'entreprise à rechercher des solutions alternatives en achetant des pièces locales ou contrefaites de mauvaise qualité à bas prix, il y a donc des pannes dans les organes et les machines.

Pro : pour réduire cette complexité un budget réfléchi doit être alloué de toutes parts.

IV.4. Interprétation des résultats

D'après l'analyse des résultats obtenus par la méthode d'ISCHIKAWA nous avons constaté que la fumée noire élevée, qui sort du collecteur d'échappement, est quasi systématiquement synonyme de sur consommation, puisqu'elle reflète un mauvais fonctionnement du moteur. Et la fumée grise est en fait caractérisée par des résidus de suies liés à une combustion partielle de non totale du carburant, donc il s'agit donc d'éléments de carbone carbonisé résultant d'un carburant mal brûlé.

Ces phénomènes sont néfastes à la mécanique ce qui va encrasser le catalyseur, mènent à des couts de réparation élevés.

Et également, on peut classer les causes les plus fréquentes qui peuvent provoquer la fumée noire ou grise au collecteur d'échappement d'un moteur diesel à deux temps d'une locomotive GM (GT 36) sont les suivants :

a. Restrictions de la circulation dans la boîte d'air

Le sable et la poussière s'accumulent sur la surface de moteur donc le circuit d'admission d'air doit être en bonne forme, à savoir un filtre à air qui n'est pas trop colmaté et un circuit admission d'air bien étanche.

b. Mal fonctionnement du turbocompresseur

Lié à l'admission d'air le turbo envoie donc plus d'air comburant dans le moteur que s'il n'y en avait pas. Si une durite est percée ou débranchée, on aura alors un manque de comburant et donc un mélange qui deviendra trop riche.

c. Moteur fatiguée ou encrasse

Voyons ce que peut provoquer d'avoir un moteur trop fatigué ou encrassé, une mauvaise combustion pourra donner lieu à des particules de carbones noire appelées suies. Ce sera donc lié à une compression compromise : moins de pression, moins de chaleur et donc un combustible mal brûlé.

Ce manque peut provenir d'un encrassement qui vient faire perdre la parfaite étanchéité des soupapes

Cela peut aussi provenir de la baisse d'efficacité de la segmentation qui participe à la bonne étanchéité.

Des injecteurs qui n'envoient plus le carburant de manière pulvérisée pourront aussi impliquer l'apparition de suies noires.

d. Injecteurs défectueux

Un ou des injecteurs qui ne dosent plus parfaitement l'envoi du carburant est une situation qui pourra aboutir à un mélange trop riche (trop de gasoil injecté), et donc l'apparition des fumées noires ou grises.

IV.4.1. Détection de problème

Quand on allume le moteur on remarque qu'il y a une difficulté au démarrage malgré le démarreur fonctionne. Lorsque le moteur tourne nous sentons l'odeur de carburant dans l'habitacle, cela signifie qu'une partie du carburant n'est pas consommée, fumée noire à l'échappement, et aussi perte de puissance le moteur n'a plus le répondant qu'avant comme si le moteur était devenu petit et plus faible.

Cela indique qu'il y a une panne de système d'alimentation, c'est à cause d'une mauvaise combustion. Une mauvaise combustion est due à un excès de carburant (mauvaise dosage de carburant), le moteur est moins puissant.

Pour cela on a effectué une inspection de tous les éléments de système d'alimentation, des éléments extérieurs du moteur tels que la pompe à combustible, les filtres à combustible montés au moteur et les tubulures d'alimentation et de retour de combustible, le réservoir à combustible, les injecteurs, les canalisations connexes complètent le système d'alimentation et la crépine d'aspiration de combustible

On a amorcé le système d'alimentation du moteur et on a effectué une vérification de l'écoulement au retour de combustible.

On a effectué une vérification de débit du système d'alimentation lorsque le moteur tourne à sa température de fonctionnement normal.

On a vérifié le niveau de combustible dans le réservoir d'alimentation.

Puis on a vérifié tous les injecteurs et les numéros de pièce d'injecteurs.

On a effectué un test d'arrêt des cylindres via un ordinateur portable. Pour ce faire, arrêtez successivement chaque injecteur à l'aide de l'ordinateur et observez la réaction du moteur. Lorsqu'un injecteur en bon état de marche est arrêté, le son du moteur change légèrement et le débit de carburant est réparti entre les autres injecteurs. Lorsqu'un injecteur défectueux est arrêté, le son, le régime et le débit des injecteurs ne changent pas.

Donc après cette analyse des différents organes de moteur diesel à deux temps d'une locomotive GM et le scanner qu'on a fait pour chaque cylindre nous avons trouvé que le problème de la fumée noire ou grise au collecteur d'échappement due à un Injecteurs d'effectuer.

IV.4.2. Méthode d'entretien de l'injecteur

IV.4.2.1. Injecteur mécanique (MUI)

L'injecteur MUI, est logé dans un trou conique pratiqué dans le centre de chaque culasse le nez dépassant légèrement en dessous du fond de la culasse. Il est situé dans la culasse par un goujon et retenu en place par un crabot et un écrou.

La coupe et les noms des diverses pièces de l'injecteur MUI sont montrés en Illustration 11-3.

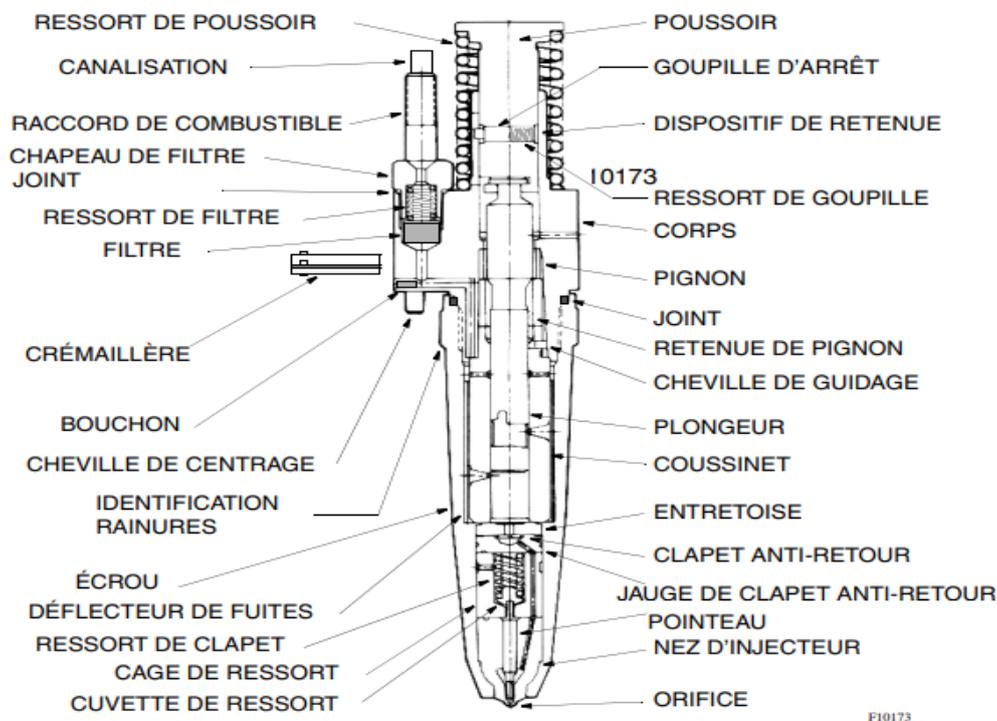


Figure IV.2 : Coupe de l'injecteur MUI.

Le plongeur est sujet à un mouvement alternatif à course constante transmis par la came de l'injecteur agissant par l'entremise du poussoir et du culbuteur. Le réglage de la période d'injection pendant la course du plongeur est réglé par une vis montée à l'extrémité du culbuteur. La rotation du plongeur, au moyen de la crémaillère et du pignon, règle la quantité de combustible injectée dans le cylindre pendant chaque course. La position de la crémaillère est contrôlée par le régulateur par l'intermédiaire de la tringlerie et du levier de commande de l'injecteur. Le pignon est claveté au plongeur et glisse sur celui-ci pour lui permettre de se déplacer verticalement.



Figure IV.3 : Écoulement du combustible dans l'injecteur MUI.

Les hélices près du bas du plongeur règlent l'ouverture et la fermeture des deux orifices d'alimentation du coussinet de plongeur. La rotation du plongeur règle le temps durant lequel les deux orifices sont fermés pendant la course verticale, contrôlant ainsi la quantité de combustible injectée dans le cylindre, comme montré en Illustration 11-5. Pendant que le plongeur passe de la position de ralenti à la position de la charge-maximale, l'intervalle de pompage de la course est rallongé, l'injection est commencée plus tôt, et une plus grande quantité de combustible est injectée.

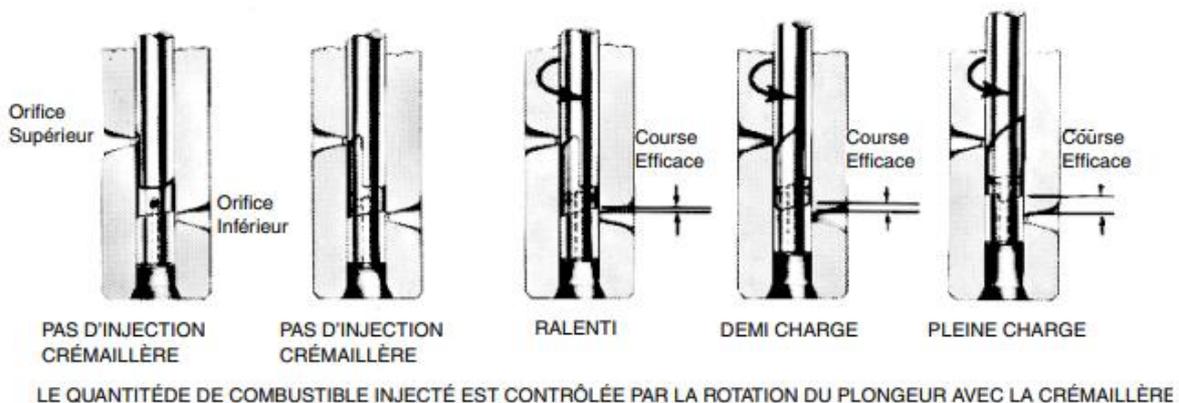


Figure IV.4 : Dosage de combustible.

La pulvérisation appropriée du combustible est assurée par la haute pression produite pendant la descente du plongeur, qui force le combustible à travers le pointeau et les gicleurs du nez de l'injecteur. Les injecteurs MUI ont une glissière de calibrage réglable, montée sur le côté du corps de l'injecteur, adjacente à la crémaillère. Cette glissière sert seulement à régler le débit de l'injecteur sur le support de calibrage. Les filtres aux raccords d'entrée et de sortie de combustible protègent les pièces mobiles de l'injecteur.

IV.4.2.2. Entretien

A. Installation des injecteurs MUI

1. Lors de l'installation d'un injecteur MUI dans un moteur, s'assurer que l'injecteur convient bien au moteur.
2. S'assurer que le corps de l'injecteur et le trou conique de la culasse soient propres.
3. Installer l'injecteur ainsi que le crabot de l'injecteur, la rondelle et l'écrou. Serrer l'écrou au couple recommandé.
4. Brancher la crémaillère de l'injecteur au levier.
5. Installer et serrer les canalisations d'alimentation et de retour de combustible à la tubulure d'alimentation du moteur et à l'injecteur.
6. Installer l'axe de culbuteurs et les culbuteurs. Desserrer l'écrou de blocage du culbuteur de l'injecteur avant de serrer les écrous de l'axe de culbuteurs. L'injecteur est maintenant prêt pour le calage.

B. Calage de l'injecteur MUI

L'injecteur étant en place, régler le calage comme suit :

1. Faire tourner le moteur dans le sens normal de rotation jusqu'à ce que l'aiguille du volant indique la position correcte du vilebrequin en degrés, par rapport au point mort haut du cylindre étant calé. Se rapporter aux directives de réglage sur la plaque de calage d'injecteur (située à l'arrière-droite du carter de moteur) et voir le Tableau I, section 7, quant au réglage du point mort haut).
2. Insérer la jauge de calage d'injecteurs dans le trou prévu dans le corps de l'injecteur.
3. Desserrer l'écrou de blocage et tourner la vis de réglage du culbuteur jusqu'à ce que l'épaule de la jauge passe juste au-dessus du guide du poussoir d'injecteur.
4. Serrer l'écrou de blocage de la vis de réglage tout en tenant la vis en place avec un tournevis.

5. Revérifier le réglage.

IV.4.2.3. Entretien des injecteurs MUI

Lors de l'entretien des injecteurs, s'assurer que l'endroit de travail et les outils soient propres. La poussière, ou la saleté sous toutes ses formes, est une cause fréquente de défaillance de l'injecteur. Quand un injecteur est dans un moteur, il se trouve protégé contre la saleté, la poussière et autres matières étrangères par les divers filtres utilisés. Quand l'injecteur est entreposé, il est protégé contre les matières nuisibles par les filtres placés aux ouvertures du corps, lesquels sont à leur tour protégés par des blocs d'expédition. Cependant, les conditions sont complètement différentes quand il est nécessaire de démonter un injecteur pour le réparer ou le réviser. Il est alors nécessaire d'avoir des ateliers et des équipements spéciaux et un personnel qualifié. Il est donc recommandé que les injecteurs qui ne fonctionnent pas soient renvoyés à la division Electro-Motive pour être remis en état ou échangés.

IV .4.2.4. Appareil d'essai d'injecteur MUI

Pour assurer le rendement efficace d'un moteur, on devrait faire l'essai des injecteurs chaque fois qu'ils sont enlevés du moteur, quelle que soit la raison de la dépose. Il est recommandé de faire l'essai du jeu complet du moteur lors de chaque inspection annuelle. Il est conseillé de faire l'essai des injecteurs en utilisant l'huile recommandée pour la protection contre la rouille comme indiqué sous la rubrique "Entreposage des injecteurs". Il est important que la personne faisant l'essai comprenne les principes de fonctionnement de l'injecteur et les méthodes d'essai afin de prévenir le choix d'injecteurs défectueux et le rejet d'injecteurs en bon état. Les directives d'emploi de l'appareil d'essai d'injecteur et une description de chaque essai ainsi qu'une explication élémentaire du principe de fonctionnement sont données ci-après. La marche à suivre ne s'applique pas à d'autres types d'équipement d'essai, puisque le taux d'écoulement des injecteurs change considérablement selon le volume du combustible contenu dans la partie de haute pression de l'appareil d'essai.

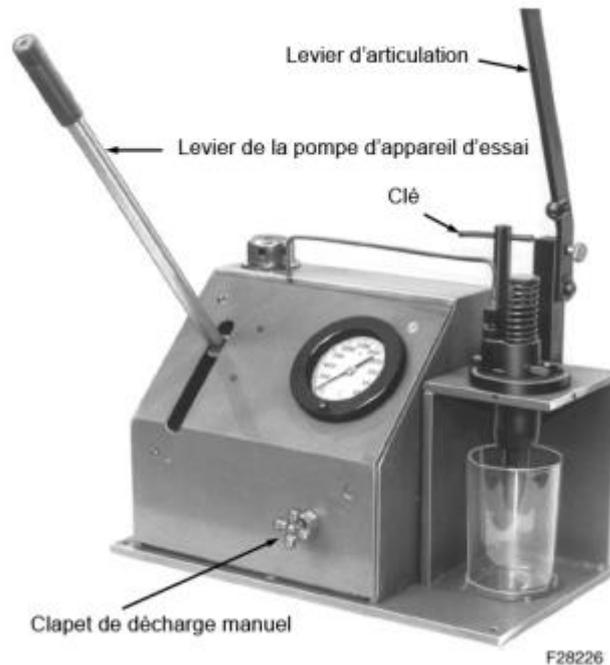


Figure IV.5 : Appareil d'essai d'injecteur MUI.

IV.4.2.5. Mise en place de l'appareil d'essai

L'appareil d'essai comprend un réservoir à combustible, un filtre, une pompe à haute pression, un manomètre et les canalisations et raccords nécessaires pour livrer le combustible à l'injecteur dont on fait l'essai. L'appareil d'essai devrait être installé comme recommandé par le fabricant. L'inspecter soigneusement pour déceler la saleté ou autres matières étrangères dans le réservoir et les canalisations. Remplir le réservoir de combustible propre et faire fonctionner la pompe pour purger tout air du système.

Des recherches ont montré que la viscosité du combustible utilisé avec l'appareil a un effet marqué sur les résultats de l'essai. On peut utiliser du combustible régulier pourvu que la viscosité ne soit pas moins de 32 S.S.U. à 38°C (100°F). Ne pas réutiliser le combustible qui a été "pompe" à travers les injecteurs et qui se trouve dans la cuvette en plastique.

IV.4.2.6. Essais d'injecteur MUI

1. Installer l'injecteur dans l'appareil d'essai.
2. Remplir l'injecteur de combustible, mais ne pas brancher la canalisation de combustible de la pompe à l'injecteur à ce moment.

3. Régler la crémaillère de l'injecteur à la position de débit maximal de combustible (longueur minimum de la crémaillère).

4. "Agiter" l'injecteur avec le levier d'articulation à un rythme uniforme d'environ 40 courses par minute. Un jet finement pulvérisé devrait apparaître à chacun des trous du nez. La fermeture rapide du clapet à pointeau devrait produire un "broutement" sec. Si le clapet s'ouvre sans produire un jet finement pulvérisé ou s'il s'enfonce sans produire de "broutement" sec, faire plusieurs courses rapides avec le levier pour déloger toute matière étrangère du siège du clapet. Si le clapet à pointeau ne fonctionne pas encore correctement, il est possible qu'un pointeau collé, un siège encrassé ou un siège défectueux en soit la cause.

IV.4.2.7. Essai de retenue de pression et fuite

1. Tous les injecteurs MUI perdent de la pression à cause de fuites à un ou plusieurs endroits, mais ces fuites doivent être contrôlées pendant la fabrication de l'injecteur afin de prévenir la dilution de l'huile de graissage du moteur. L'essai de retenue de la pression reconnaîtra les injecteurs ayant des taux d'écoulement recommandés, pourvu que ces fuites soient à l'endroit appropriées et qu'elles soient contrôlées d'une manière satisfaisante.

2. Tenir manuellement le bloc de la canalisation de combustible de l'appareil d'essai sur l'injecteur. "Pomper" jusqu'à ce que le combustible s'écoule du chapeau de filtre du côté opposé, pour évacuer l'air. Une fois que l'injecteur est rempli de combustible, brancher l'appareil d'essai à l'injecteur à l'aide de la clé. Appliquer une pression de 12 411 kPa (1800 psi) à 13 790 kPa (2000 psi) à l'injecteur. Il ne doit y avoir aucune fuite au joint d'étanchéité entre l'écrou et le corps, au joint d'étanchéité du chapeau du filtre, aux bouchons du corps ou entre le nez et l'écrou de l'injecteur. *

3. Les injecteurs MUI devraient être évalués à l'essai de la pression en chronométrant l'intervalle d'une baisse de pression de 13 790 kPa (2000 psi) à 10 342 kPa (1500 psi). Si cet intervalle est moindre de 20 secondes (usagés) ou 30 secondes (neufs ou remis en état), répéter l'essai, mais fermer le clapet de décharge manuel de l'appareil immédiatement après avoir obtenu la pression de 13 790 kPa (2000 psi). Ceci est pour s'assurer que le temps d'écoulement n'est pas affecté par une fuite probable dans l'appareil d'essai lui-même. Si l'intervalle de la baisse de pression de 13 790 kPa (2000 psi) à 10 342 kPa (1500 psi) est encore moindre de 20 secondes (usagés) ou 30 secondes (neufs ou remis en état), l'injecteur devrait être mis au rebut. Pour relâcher la pression avant d'enlever l'injecteur de l'appareil d'essai, enrouler un chiffon autour des raccords de canalisation de combustible de l'injecteur et desserrer la clé de serrage.

IV.4.2.8. Liberté de déplacement de la crémaillère

1. La crémaillère s'engage à un petit pignon sur le plongeur d'injecteur et sert à tourner le plongeur en raison des deux ouvertures pratiquées dans le coussinet de l'injecteur, qui règle la quantité du combustible injectée à chaque course du plongeur. Le grippage de la crémaillère est généralement causé par des dents de pignon endommagées, un plongeur et un coussinet rayés, ou par l'écorchure de la crémaillère elle-même. Une crémaillère qui grippe peut causer des changements de régime défavorables ou irréguliers et le déclenchement du régulateur de sur-régime.

2. Pour que l'essai soit satisfaisant, la crémaillère doit se déplacer de l'intérieur à l'extérieur, de son propre poids, durant la course complète quand l'injecteur est tenu horizontalement et pivoté autour de son axe.

IV.4.2.9. Grippage du plongeur

1. Si le plongeur de l'injecteur ne se déplace pas librement de haut en bas, c'est signe que le plongeur et le coussinet sont rayés ou que le ressort est faible ou cassé. Un plongeur grippé causera l'allumage irrégulier dans le cylindre et, dans les cas extrêmes, un déclenchement du régulateur de sur-régime.

2. Placer l'injecteur dans l'appareil d'essai mais ne pas fixer la canalisation de combustible. Placer la crémaillère à la position d'alimentation maximale et "pomper" tout le combustible hors de l'injecteur avec le levier d'articulation de l'injecteur. Quand tout le combustible a été évacué, enfoncer le plongeur de l'injecteur au bout de sa course. Relâcher lentement le levier d'articulation et déplacer simultanément aller-retour la crémaillère à plusieurs reprises, durant sa course complète.

IV.4.2.10. Remplacement des filtres d'injecteur MUI

Les filtres d'injecteur ne devraient pas être déplacés ni enlevés, sauf pendant la remise en état de l'injecteur (quand toutes les pièces sont complètement lavées), ou s'il y a interruption de combustible à l'injecteur.

IV.4.2.11. Entreposage des injecteurs MUI

Quand les injecteurs MUI ne seront pas utilisés pendant une période de temps prolongée, ils devraient être protégés contre la rouille à l'aide d'un distillat de pétrole liquide inoxydable et stable, de volatilité comparable au kérosène. On recommande également de faire l'essai des injecteurs en utilisant cette huile. De cette façon, le traitement sera effectué à l'occasion de l'essai de l'injecteur.

Suivant le traitement, les injecteurs devraient être entreposés dans un contenant protecteur jusqu'à ce qu'on en ait besoin.

IV.4.3. Tringlerie d'injecteur

IV.4.3.1. Description

La tringlerie d'injecteur, comprend l'agencement mécanique entre le régulateur et l'injecteur qui permet à toutes les positions de la crémaillère d'injecteur de changer simultanément avec la rotation de l'axe terminal du régulateur. Deux tiges de commande relient le levier de l'axe terminal du régulateur aux arbres de commande de l'injecteur. Les arbres de commande d'injecteurs, un de chaque côté, s'étendent le long des rangées de cylindres sous les supports du couvercle de culasse. À chaque cylindre, un levier est goupillé à l'arbre de commande. Une biellette relie le levier de l'arbre de commande à un levier de commande d'injecteur monté sur la culasse, dont une extrémité chevauche la bille à l'extrémité de la crémaillère d'injecteur.

IV.4.3.2. Entretien

Avant d'essayer de régler les crémaillères d'injecteur, toutes les crémaillères et leur tringlerie devraient être vérifiées pour déceler le grippage, le collage ou l'usure qui pourrait en affecter le fonctionnement

IV.4.3.3. Réglages des crémaillères d'injecteur

Les crémaillères d'injecteur MUI devraient être réglées pendant que le moteur est à la température de fonctionnement normal. Si les crémaillères sont réglées quand le moteur n'est pas à la température de fonctionnement normal, on devrait revérifier les réglages quand la température de fonctionnement normal est atteinte. Au fur et à mesure que la température du moteur augmente, la longueur de la crémaillère du côté droit diminue et la longueur de la crémaillère du côté gauche augmente. Le changement de longueur du côté gauche n'est pas significatif, mais le changement du côté droit peut raccourcir les crémaillères au-delà de la tolérance de moins 0,40 mm (1/64").

Régler la crémaillère d'injecteur sur le moteur comme suit :

1. Installer le support de réglage de la tringlerie d'injecteur.

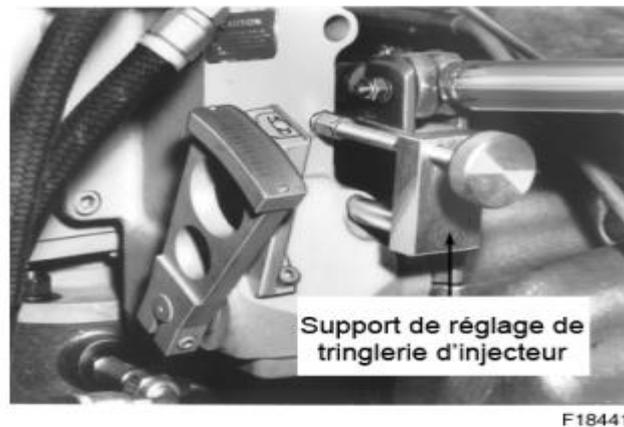


Figure IV.6 : Orientation de la crémaillère d'injecteur MUI

2. Régler le support de réglage jusqu'à ce que l'aiguille du régulateur arrive vis-à-vis le repère 1.00" de l'indicateur de l'axe terminal du régulateur.

3. Utiliser la jauge de crémaillère d'injecteur, pour régler les crémaillères entre les repères de réglage de la jauge. La jauge de réglage de la crémaillère est une jauge de rapport de 8 à 1 qui indique la tolérance de 0,40 mm (1 /64") par des repères de 3,18 mm (1 /8") de chaque côté du repère central de la jauge.

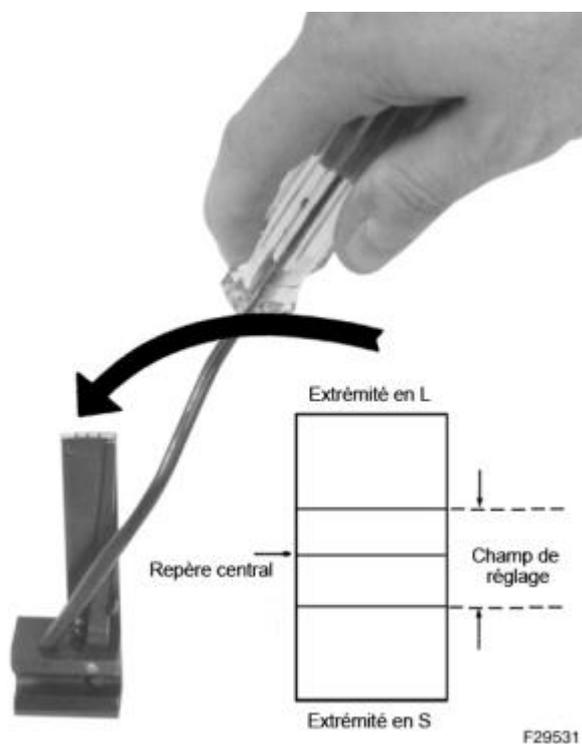


Figure IV.7 : Jauge de crémaillère d'injecteur MUI

Il est important d'utiliser la jauge appropriée, car les jauges de crémaillère de modèles précédents mesureront la longueur de la crémaillère à partir du corps de l'injecteur au lieu d'à partir de la face de la glissière de calibrage. La jauge appropriée pour le réglage des injecteurs avec glissières de calibrage peut être facilement identifiée par un simple bouton de repérage situé sur la face avant de la jauge. Cette jauge peut être utilisée pour tous les injecteurs.

4. Placer la jauge sur la crémaillère d'injecteur et la retenir fermement contre la face de la glissière de calibrage sur l'injecteur, et vérifier l'aiguille de la jauge. Si l'aiguille est à l'extrémité courte ("S") de l'indicateur, en dehors du champ de réglage, la crémaillère ne s'écarte pas assez loin de l'injecteur. Desserrer l'écrou de blocage de la bielle de réglage, et tourner l'écrou de réglage de la bielle jusqu'à ce que l'aiguille soit à l'extrémité tongue ("L") de l'indicateur ; puis inverser la course de l'aiguille jusqu'à ce qu'elle soit dans le champ de réglage de l'indicateur. Retenir l'écrou de réglage et serrer l'écrou de blocage. La raison pour laquelle on dépasse le champ de réglage quand on effectue le réglage est que, en réglant toutes les crémaillères, le jeu entredents sera dans le même sens.

5. Quand l'aiguille est à l'extrémité tongue ("L") de l'indicateur, la régler dans le champ de réglage. La précision de la jauge de crémaillère d'injecteur peut être vérifiée en insérant le bloc-maître dans le corps de la jauge. L'aiguille devrait arriver vis-à-vis le repère central de l'indicateur.



Figure IV.8 : Vérification de la jauge de crémaillère d'injecteur MUI

IV.4.4. Solution

D'après l'entretien des injecteurs et l'essai qu'on a fait nous avons constaté que les injecteurs sont endommagés. Donc ces obligatoire de les remplacer par des nouveaux injecteurs.

IV.4.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons résoudre le problème de la fumée noir ou grise au niveau de coélecteur d'échappement par la méthode ISHIKAWA (cause effet) et on a pu classer toutes les causes possibles qui dues à ce problème, et nous avons constaté que le problème est dû aux défaillances des injecteurs.

D'après l'entretien des injecteurs d'affectueux, nous avons conclu que la résolution du problème nécessite obligation leurs changement

IV.5. Conclusion générale

Dans ce travail, nous avons pu résoudre la problématique liée au dégagement de la fumée noire ou grise au collecteur d'échappement d'un moteur diesel à deux temps de locomotive GM et nous avons proposé la méthode d'ISHIKAWA dans le but de déterminer la cause principale qui conduit à ce problème.

L'analyse des organes du moteur à deux temps de locomotive GM, nous a permis de déterminer les pannes et les anomalies courantes qui produisent ce problème.

Cependant, l'utilisation de la méthode d'ISHIKAWA nous a permis d'envisager le classement des pannes en quelques grandes familles, et pour chacune d'elles nous avons dénombré les causes probables de ses pannes, déterminé les effets de ses causes, pour les remédier et recommander.

D'après l'analyse effectuée sur les organes du moteur à deux temps et l'utilisation de la méthode d'ISHIKAWA 5M et 7M, nous avons constaté que la fumée noire ou grise peut être provoquée par les injecteurs défectueux.

Également, on peut constater que la méthode envisagée pour l'étude de la problématique liée au dégagement de la fumée noire ou grise au collecteur d'échappement du moteur diesel à deux temps de locomotive GM (G36) nous a permis d'atteindre l'objectif de résoudre le problème posé et de remettre le moteur à son état de bon fonctionnement.

En outre, le stage effectué au sein de la BPML, avait pour nous un double bénéfice. Tout d'abord, il nous a permis d'appliquer les connaissances théoriques acquises dans notre cursus de l'étude en Sciences et Techniques « Construction mécanique » ainsi que de vivre une expérience professionnelle très enrichissante sur le plan pratique et d'approfondir nos compétences acquises.

Références bibliographiques

1. S.N.T.F-Base Principale de Maintenance des Locomotives .
2. *GT36CW/GT36HCW MANUEL D'ENTRETIEN DE LA LOCOMOTIVE* . s.l. : Electro-Motive Diese, avril 2007.
3. *Moteur diesel 710* . s.l. : Electro-Motive , 2 - Janvier 2014.
4. *SÉRIE 645/710 MANUEL D'ENTRETIEN DU MOTEUR* . s.l. : La Grange, Illinois 60525 USA, avril 2006.
5. <https://www.fabrique.tech/blog/outils-incontournables-resolution-de-probleme> Les méthodes et outils incontournables pour la résolution de problème. *Les méthodes et outils incontournables pour la résolution de problème*. [En ligne]
6. Méthode QQQCP : définition et exemples concrets pour chaque question. <https://www.appvizer.fr/magazine/operations/gestion-de-projet/methode-qqqc>. [En ligne]
7. LOGISTIQUE POUR TOUS.FR. <http://logistique-pour-tous.fr/yamazumi-revelateur-de-valeur-ajoutee/>. [En ligne]
8. Construire le diagramme d'Ishikawa . <https://blog-gestion-de-projet.com/diagramme-dishikawa/#t-1634210288320>http://democritique.org/IT/Kaoru_Ishikawa.svg.xhtml. [En ligne]
9. Concevoir un diagramme causes-effets ou diagramme des 7 M. https://www.i-manuel.fr/AC_AC4/AC_AC4part1dos1AC1fr3.htm. [En ligne]
10. Comment construire un diagramme d'Ishikawa. <https://qualitexpert-dz.com/qcq/construire-un-diagramme-dishikawa/>. [En ligne]
11. Hakim SIGUERDJIDJENE. Cours de traction ferroviaire, Université de Boumerdes, faculté des sciences (FT), Umbb. 2016
12. Hakim SIGUERDJIDJENE. Cours de gestion de la production et de la maintenance, Université de Boumerdes, faculté de Technologie (FT), Umbb. 2021