

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR ANNABA-UNIVERSITY  
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA



جامعة باجي مختار عنابة

Année : 2011

FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR  
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

## MEMOIRE

PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER

### INTITULE

# MISE EN PLACE DE LA RCM À LA SNTF

DOMAINE : SCIENCES ET TECHNIQUE

FILIERE : MASTER

SPECIALITE : MAINTENANCE INDUSTRIELLE ET FIABILITE MECANIQUE

PRESENTE PAR : BOUACHA AKRAM

BAKHOUCHE ALLAOUA

DIRECTEUR DU MEMOIRE : MR. RABIA KHELIF

DEVANT LE JURY

PRESIDENT : MR. R. KHELIF  
EXAMINATEURS : MR. R. LAISSAOUI  
MR. A. LAGRED  
MR. K. KALOUCHE

*A mon père  
A ma petite famille....  
Celle qui m'a vu grandir....  
Ceux que je vois grandir.*

## **LISTE DES FIGURES**

<b>Figure I-1.</b> Organigramme de la <b>SNTF</b> .....	3
<b>Figure I-2.</b> Organigramme du dépôt de <b>S/A</b> .....	4
<b>Figure I-3.</b> Spectromètre.....	5
<b>Figure I-4/A.</b> Bon d'analyse d'huile vide.....	6
<b>Figure I-4/B.</b> Bon d'analyse d'huile rempli.....	6
<b>Figure I-5.</b> Dispositifs électroniques.....	7
<b>Figure I-5/A.</b> Simulateur.....	8
<b>Figure I-5/B.</b> Electronique – hacheur.....	8
<b>Figure I-5/C.</b> Electronique <b>CVS</b> .....	8
<b>Figure I-5/D.</b> Banc d'essai module thyristor locos <b>6FE</b> .....	9
<b>Figure I-5/E.</b> Multimètre.....	9
<b>Figure I-6/A.</b> Moteur rembobiné.....	11
<b>Figure I-6/B.</b> Rembobinage.....	12
<b>Figure I-7.</b> Dispositifs réparables dans l'annexe. ....	13
<b>Figure I-8.</b> Locomotive diesel.....	14
<b>Figure I-9.</b> Locomotive électrique.....	14
<b>Figure I-10.</b> Magasin général.....	14
<b>Figure II-1.</b> Locomotive <b>GM</b> .....	19
<b>Figure II-2.</b> Moteur diesel <b>GM 645</b> .....	20
<b>Figure II-3.</b> Carter de moteur et d'huile.....	21
<b>Figure II-4.</b> Culasse.....	22
<b>Figure II-5.</b> Bielle.....	23
<b>Figure II-6.</b> Piston.....	23
<b>Figure II-7.</b> Chemise de cylindre.....	24

<b>Figure II-8.</b> Vilebrequin.....	25
<b>Figure II-9.</b> Arbre à cames.....	25
<b>Figure II-10.</b> Distribution d'arbre à cames.....	26
<b>Figure II-11.</b> Culbuteur.....	26
<b>Figure II-12.</b> Axe culbuteur.....	26
<b>Figure II-13.</b> Turbo compresseur.....	27
<b>Figure II-14.</b> Collecteur d'échappement.....	28
<b>Figure II-15.</b> Système de graissage.....	29
<b>Figure II-16.</b> Système de refroidissement.....	29
<b>Figure II-17.</b> Système d'alimentation.....	30
<b>Figure II-18.</b> Régulateur.....	31
<b>Figure II-19.</b> Cabine de conduite.....	32
<b>Figure II-20.</b> Bogie a menotte.....	34
<b>Figure II-21.</b> Compresseur d'air.....	34
<b>Figure II-22.</b> Moteur de traction.....	35
<b>Figure II-23.</b> Stator.....	36
<b>Figure II-24.</b> Induit.....	36
<b>Figure II-25.</b> Génératrice auxiliaire.....	37
<b>Figure II-26.</b> Alternateur <b>D14</b> .....	38
<b>Figure II-27.</b> Ensemble génératrice principale <b>AR10</b> .....	39
<b>Figure II-28.</b> Vue schématique de l'alternateur.....	40
<b>Figure II-29.</b> Pompe principale.....	40
<b>Figure II-30.</b> Pompe de reprise.....	41
<b>Figure II-31.</b> Fonctionnement du moteur <b>645 GM</b> .....	43
<b>Figure III-1.</b> Choix des équipements à étudier.....	46
<b>Figure III-2.</b> Analyse des défaillances des différents équipements étudiés.....	47
<b>Figure III-3.</b> Optimisation de maintenance par la <b>RCM</b> .....	48

<b>Figure III-4.</b> Étape interactive de la <b>RCM</b> .....	48
<b>Figure III-5.</b> Les 4 étapes principales de la démarche <b>RCM</b> .....	49
<b>Figure III-6.</b> Démarche proposée.....	50
<b>Figure III-7.</b> Cascade des pourquoi.....	53
<b>Figure IV-1.</b> Criticité des pannes par rapport les modèles <b>GM</b> .....	79
<b>Figure IV-2.</b> Criticité des pannes sur les <b>060 DG</b> .....	80
<b>Figure IV-3.</b> Criticité des pannes sur <b>060 DG 03</b> .....	81
<b>Figure IV-4.</b> Fonctions principales.....	86
<b>Figure IV-5.</b> Fonctions contraintes.....	88
<b>Figure IV-6.</b> Fonctions élémentaires.....	90
<b>Figure IV-7.</b> Processus actuels de travail.....	92
<b>Figure IV-8.</b> Processus proposés.....	93
<b>Figure IV-9.</b> Organigramme de la division logistique.....	94
<b>Figure IV-10.</b> Système <b>ERP</b> .....	96
<b>Figure IV-11.</b> Criticité des pannes sur <b>060 DG 03</b> .....	98
<b>Figure IV-12.</b> Planification des taches.....	106
<b>Figure IV-13.</b> Indicateurs opérationnels <b>FMD</b> .....	109
<b>Figure IV-14.</b> Schéma d'évolution du coût total en fonction du temps.....	118

## LISTE DE TABLEAUX

<b>Tableau III-1.</b> Cause à effet.....	55
<b>Tableau III-2.</b> AMDEC.....	55
<b>Tableau III-3.</b> Grille de cotation de la probabilité d'occurrence.....	56
<b>Tableau III-4.</b> Grille de cotation de la gravité.....	56
<b>Tableau III-5.</b> Grille de cotation de la probabilité de non détection.....	57
<b>Tableau IV-1.</b> Moyen des pannes par technologie.....	78
<b>Tableau IV-2.</b> Total des pannes sur <b>060 DG</b> .....	79
<b>Tableau IV-3.</b> Distribution des pannes sur <b>060 DG 03</b> .....	81
<b>Tableau IV-4.</b> Historique des pannes.....	108
<b>Tableau IV-5.</b> Temps de bon fonctionnement.....	111
<b>Tableau IV-6.</b> Fonction de réparation cumulée.....	112
<b>Tableau IV.7.</b> Valeur de $D_{N, \alpha}$ donnée par la table <b>K-S</b> .....	114

## NOTATION

**RCM** : Reliability centered maintenance.

**SNTF** : Société nationale des transports ferroviaires.

**ERP** : Entreprise ressources planning.

**PLMA** : Paris –Lyons à la méditerranée.

**SNCF** : Société nationale du chemin de fer français d'Algérie.

**DRFA** : Direction régionale ferroviaire Annaba.

**DPSA** : Dépôt de Souk Ahras.

**SDM** : Sous direction de maintenance.

**SDT** : Sous direction technique.

**BTM** : Bureau de temps et de méthode.

**H** : Hacheur.

**PHT** : Plaque haute tension.

**CVS** : Convertisseur statique.

**6FE** : Locomotive électrique.

**GM** : Général Motors.

**UR26** : Disjoncteurs ultra rapide.

**MGX** : Magasin.

**XA** : Magasin générale Souk Ahras.

**XM** : Magasin général Rouïba.

**BPML** : Base principale de maintenance des locomotives.

**PGEV** : Régulateur.

**D14** : Alternateur.

**GA** : Génératrice auxiliaire.

**AR10** : Génératrice principale.

**PMB** : Point mort bas.

**PMH** : Point mort haut.

**PMT** : Prédicatif Maintenance Task.

**AMDEC** : Analyse de modes de défaillance et leurs effets et de leur criticités.

**G** : Gravité.

**D** : Détectabilité.

**F** : Fréquence.

**C** : Criticité.

**AV** : Analyse de la valeur.

**AF** : Analyse fonctionnelle.

**CP** : Coûts préventifs.

**CC** : Coûts correctifs.

**VP** : Visite périodique.

**VM** : Visite mensuelle.

**VT** : Visite trimestrielle.

**VA** : Visite annuelle.

**IS** : Inspection sommaire.

**IC** : Inspection complète.

**RA** : Révision accidentelle.

**FP** : Fonction principale.

**FC** : Fonction contrainte.

**FT** : Fonction élémentaire.

**FMDS** : Fiabilité – maintenabilité – disponibilité – sécurité.

**MD** : moteur diesel.

# SOMMAIRE

## CHAPITRE I

I-1- Introduction.....	1
I-2- Définition de la <b>SNTF</b> .....	2
I-2-1- Historique de la <b>SNTF</b> .....	2
I-2-2- Présentation de la <b>SNTF</b> .....	2
I-2-3- Rôle de la <b>SNTF</b> et principaux clients.....	2
I-2-4- Organigramme des structures de la <b>SNTF</b> .....	3
I-2-5- Direction régionale ferroviaire Annaba <b>DRFA</b> .....	4
I-2-6- Dépôt principal de maintenance des locomotives de <b>Souk Ahras</b> .....	4
I-2-7- Organigramme du dépôt <b>S/A</b> .....	4
I-2-8- Activités du dépôt.....	5
I-2-8-1- Laboratoires.....	5
I-2-8-1-1- Laboratoire d'analyse d'huile.....	5
I-2-8-1-2- Laboratoire électronique.....	7
I-2-8-1-3- Laboratoire pneumatique.....	10
I-2-8-2- Sections.....	11
I-2-8-2-1- Section rembobinage.....	11
I-2-8-2-2- Annexe.....	13
I-2-8-2-3- Section VP diesel.....	14
I-2-8-2-4- Section VP électrique.....	14
I-2-8-2-5- Section bogie.....	14
I-2-8-2-6- Section établi.....	14
I-2-8-3- Magasin générale.....	14
I-2-8-4- Parc principal.....	17

## CHAPITRE II

II-3-Description de la locomotive.....	20
II-3-1- Moteur diesel turbocompressé.....	20
II-3-1-1- Carter de moteur et d'huile.....	20
II-3-1-2- Culasse.....	21
II-3-1-3- Piston et bielle.....	22
II-3-1-4- Chemise de cylindre.....	24
II-3-1-5- Vilebrequin.....	24
II-3-1-6- Arbre à cames.....	25
II-3-1-7- Distribution d'arbre à cames.....	26
II-3-2- Système d'air et d'échappement.....	27
II-3-2-1- Turbo compresseur.....	27
II-3-2-2- Collecteur d'échappement.....	28
II-3-3- Système de graissage.....	28
II-3-4- Système de refroidissement.....	29
II-3-5- Système d'alimentation.....	30
II-3-6- Régulateur.....	31
II-3-7- Cabine de conduite.....	32
II-3-8- Bogie.....	33
II-3-9- Compresseur.....	34
II-3-10- Moteur de traction.....	35
II-3-11- Génératrice auxiliaire.....	37
II-3-12- Alternateur <b>D14</b> .....	38
II-3-13- Génératrice principale <b>AR10</b> .....	39
II-3-14- Alternateur de traction.....	40
II-3-15- Pompes.....	40
II-3-15-1- Pompe principale et pompe de refroidissement des pistons.....	40

II-3-15-2- Pompe de reprise « moteur16 cylindres » .....	41
II-4- Fonctionnement du moteur diesel.....	41
<b>CHAPITRE III</b>	
III-5- <b>RCM</b> .....	44
III-5-1- Généralités et objectifs de la <b>RCM</b> .....	44
III-5-2- Outils de la <b>RCM</b> .....	45
III-5-3- Etapes de la méthode.....	46
III-5-4- Principes de base.....	49
III-5-5- Méthode d’optimisation de la maintenance.....	50
III-5-5-1-Démarche proposée.....	50
III-5-5-1-1- Analyse de Pareto.....	51
III-5-5-1-2- Cascade des pourquoi.....	53
III-5-5-1-3- Amdec.....	53
III-5-5-1-4- Brainstorming.....	57
III-5-5-1-5- Estimation.....	58
III-5-5-1-5- Analyse de la valeur.....	60
III-5-5-1-6- Team building.....	63
III-5-5-1-7- Analyse fonctionnelle.....	64
III-5-5-1-8- Coûts.....	67
<b>CHAPITRE IV</b>	
IV-6- Mise en place de <b>RCM</b> .....	75
IV-6-1- Entreprise.....	75
IV-6-2- Décomposition de l’entreprise.....	75
IV-6-3- Critères qualitatifs.....	75
IV-6-4- Classement des sites à étudier.....	76
IV-6-5- Décomposition topo fonctionnelle.....	76
IV-6-6- Moyens de maintenance.....	78

IV-6-7- Matrice de criticité relative à la <b>SNTE</b> .....	78
IV-6-8- Limitation des parties à étudier.....	80
IV-6-9- Analyse de Pareto.....	81
IV-6-10- Décomposition fonctionnelle.....	81
IV-6-10-1- Système d'alimentation.....	82
IV-6-10-2- Système d'air.....	82
IV-6-10-3- Système de refroidissement.....	83
IV-6-10-4- Système de graissage.....	83
IV-6-10-5- Elément de puissance.....	84
IV-6-11- Analyse fonctionnelle.....	85
IV-6-11-1- Fonctions principales.....	85
IV-6-11-2- Fonctions contraintes.....	87
IV-6-11-3- Fonctions élémentaires.....	89
IV-6-11-4- Elimination des fonctions contraintes.....	91
IV-6-11-5- Système <b>ERP/ PGI</b> .....	95
IV-6-12- Modes de défaillances fonctionnelles.....	97
IV-6-12-1- Analyse de la fiche historique.....	97
IV-6-12-2- Matrice de criticité.....	98
IV-6-12-3- Décomposition organique.....	99
IV-6-12-4- Analyse <b>AMDEC</b> .....	100
IV-6-13- Logigramme de décision <b>RCM</b> .....	101
IV-6-14- Liste des <b>taches</b> considérées.....	102
IV-6-15- Planification des taches.....	105
IV-6-16- Etude du rapport d'intervention.....	107
IV-6-17- Mise en place des indicateurs.....	109
IV-6-17-1- Interprétation mathématique des données.....	109
IV-6-17-2- Interprétation fiabiliste des données.....	109

IV-6-18- Calcul de fiabilité / Analyse.....	113
IV-6-19- Obtention d'une politique de maintenance préventive.....	116
IV-6-20- Base de connaissance de l'entreprise.....	118
Conclusion.....	119
Bibliographie.....	120

## **I-1- INTRODUCTION :**

Peu d'entreprises pensent encore aujourd'hui que " **la maintenance est un mal nécessaire** ". Cependant, peu d'entre elles réalisent que le moindre accroc dans l'efficacité ou la pertinence de la maintenance peut avoir des conséquences indirectes extrêmement préjudiciables pour d'autres fonctions de l'entreprise. Un manque de fiabilité d'un équipement peut générer : des retards de livraison, des pertes de clients, des stocks de produits finis plus importants, des difficultés de trésorerie, des heures supplémentaires, de la fatigue inutile voire même des problèmes de sécurité. La connaissance du matériel, de ses faiblesses, dégradations et dérives, complétées jour après jour, permet des corrections, des améliorations et sur le plan économique, des optimisations ayant pour objet la réduction des coûts de maintenance. La maintenance basée sur la fiabilité (**RCM**), comme procédé pour identifier des conditions de l'entretien préventif des systèmes complexes, a été identifiée et acceptée dans beaucoup de domaines industriels, comme l'usine sidérurgique, aviation, réseau ferroviaire.

On traite dans ce travail, l'optimisation de la maintenance par la **RCM** (Maintenance Basée sur la Fiabilité) puis on la complète tout en proposant une démarche d'optimisation qui a pour finalité de rendre le champ d'action de la méthode plus efficace et plus efficiente. Ensuite, on applique l'étude à une ligne de maintenance qui présente des problèmes de fiabilité au sein de la **SNTF**.

Ainsi le mémoire sera architecturé comme suit :

Le premier chapitre sera consacré à des généralités concernant la structure d'accueil, la **SNTF**, ainsi que son organisation.

Dans une deuxième partie, une étude détaillée des équipements de la **SNTF** est développée.

La troisième partie est réservée aux concepts de base de la **RCM** ainsi qu'à sa mise en œuvre; un développement de toutes les étapes de la **RCM** est fait.

Dans la dernière partie, nous proposons une méthodologie de mise en place de la **RCM**, une politique de maintenance basée sur les coûts et les résultats de fiabilité en exploitation est ainsi discutée.

Un progiciel de gestion intégré **ERP** est aussi proposé.

## **I-2- DÉFINITION DE LA SNTF :**

### **I-2-1- HISTORIQUE DE LA « SNTF » :**

La création des chemins de fer d'Algérie a été décidée en **1857**. La première convention accordant une concession d'exploitation à une société privée datée de **1863**.

Les chemins de fer représentent un intérêt stratégique et économique. Les compagnies citées ci-dessus ont été créées et développées au service de la colonisation et de domination.

- Compagnie de l'ouest d'Algérie.
- Compagnie de la France Algérienne.
- Compagnie de l'est d'Algérie.
- Compagnie de **PLMA** (Paris- Lyons à la Méditerranée).
- En **1921** division des lignes algériennes en deux (**02**) groupes.
- **1<sup>er</sup>** groupe de l'est d'Alger exploité pour le chemin de fer Algérien de l'état.
- **2<sup>eme</sup>** groupe de l'ouest confié par voie d'affermage à la compagnie **PLMA** ancien concessionnaire.

En **1922**, la France a commencé l'exploitation des richesses de notre pays par L'amélioration des moyens de transport tout en créant deux grands réseaux.

En **1959**, Création de société nationale des chemins de fer en Algérie (**SNCFA**) et élaborer d'une série de textes juridiques ordonnancés le **04/02/1959**.

### **I-2-2-PRESENTATION DE LA SNTF :**

La **SNTF** est une société publique dotée de la personnalité civile et de l'autonomie financière. Ce secteur s'est réorganisé dans le fond et la forme.

Nous citons à titre d'exemple l'ordonnance N° **25** du **28** mars **1976**, en donnant le passage de la « **SNCFA** » vers (**Société Nationale de Transport Ferroviaire**).

### **I-2-3- ROLE DE LA SNTF ET PRINCIPAUX CLIENTS :**

La **SNTF** occupe une place stratégique dans l'économie nationale. La vocation qui lui a été attribuée est le transport des voyageurs, de minerai, et le carburant. Son réseau ferroviaire arrive jusqu'aux régions les plus lointaines du pays.

La **SNTF** représente un important secteur de développement à l'échelle économique marqué pour la contribution d'état.



Leurs principaux clients sont :

- EL-HDJAR.
- SONOTROM.
- NAFTAL.
- OAIC.
- SAS.
- FERPHOS.
- AUTRE...

#### I-2-4- ORGANIGRAMME DES STRUCTURES DE LA SNTF :

La SNTF est composée de neuf (09) directions centrales, de quatre (04) directions régionales, de quatre (04) ateliers de maintenances ferroviaires, de dix (10) filiales dont huit (08) le capital de la SNTF est de 100% et deux (02) est de 50%, d'une délégation aux services des wagons et d'une délégation aux activités sociales et culturelles.

Organigramme de la SNTF

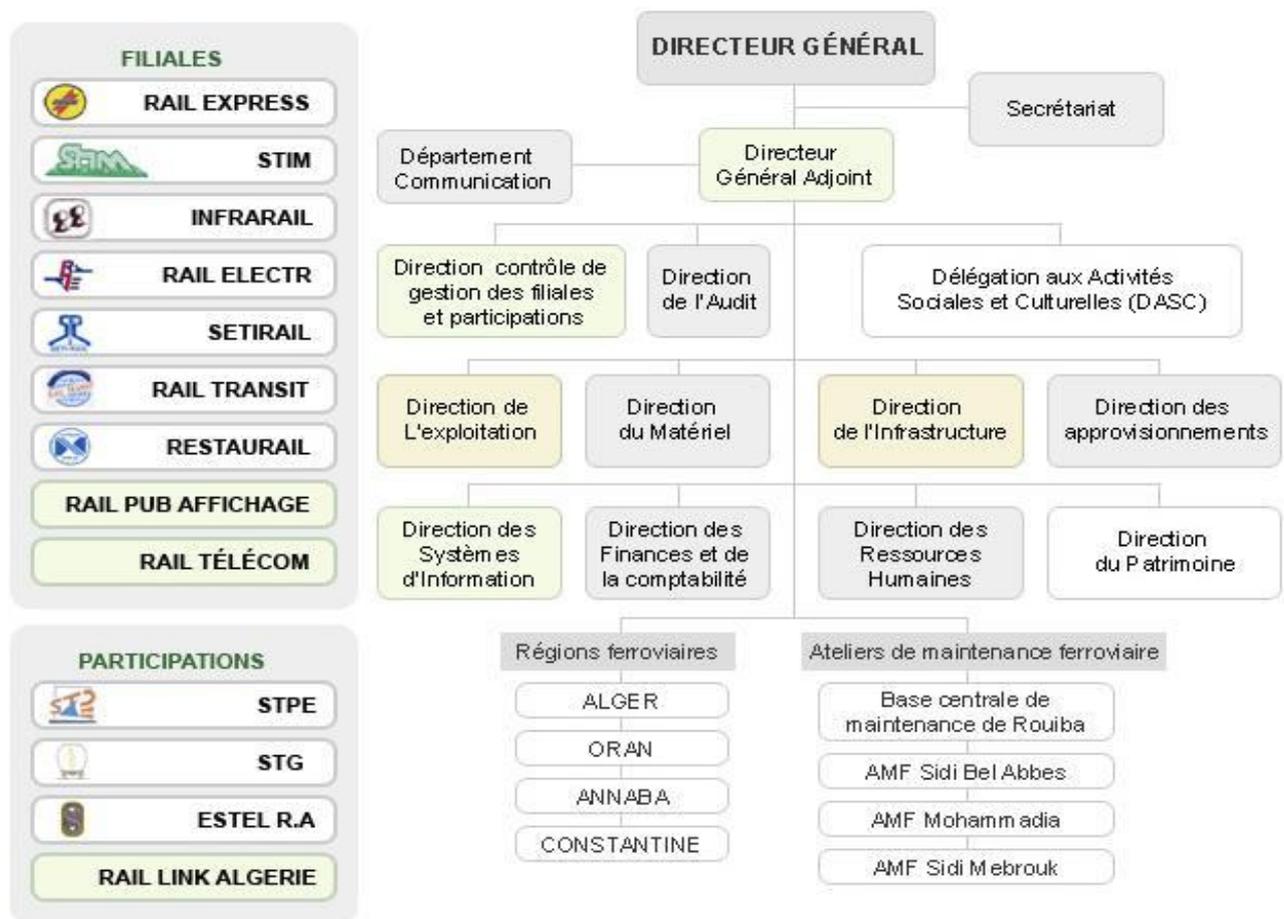


Figure I-1. Organigramme de la SNTF.

### I-2-5- DIRECTION REGIONALE FERROVIAIRE ANNABA DRFA :

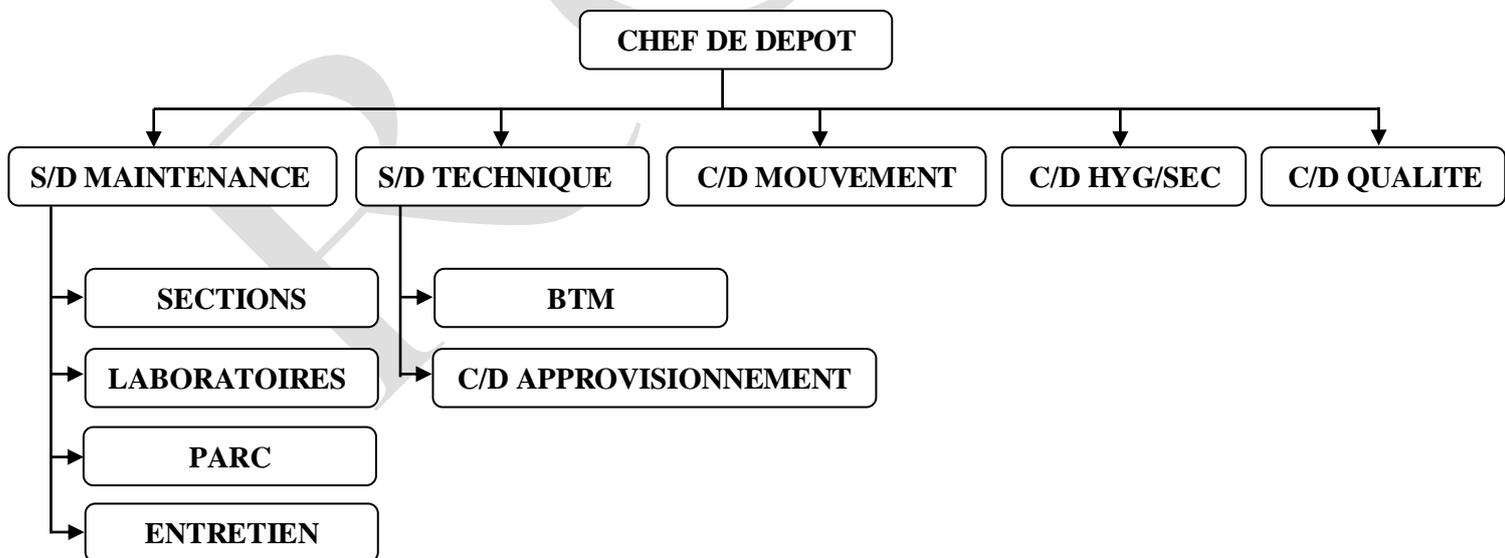
Elle se compose de :

- Service clientèle.
- Département finance.
- Département personnel et administration.
- Département approvisionnement.
- Division des marchés.
- Service de sécurité des circulations ferroviaire.
- Service de l'infrastructure.
- **Service du matériel : présente par le dépôt principal de maintenance des locomotives de SOUK AHRAS.**

### I-2-6- DEPOT PRINCIPAL DE MAINTENANCE DES LOCOMOTIVES DE SOUK AHRAS DPSA :

Le dépôt principal de maintenance des locomotives de **SOUK AHRAS** est l'unité de maintenance des locomotives de la direction régionale d'Annaba. Situé au centre ville de **SOUK AHRAS** dans un emplacement stratégique dans le triangle **ANNABA TEBESSA** et **LA TUNISIE**, il est dérivé de l'atelier de maintenance ferroviaire de **SIDI MABROUK CONSTANTINE** et effectivement le dépôt national de maintenance des locomotives électriques.

### I-2-7- ORGANIGRAMME DU DEPOT S/A :



*Figure I-2. Organigramme du dépôt de S/A.*

### **I-2-8- ACTIVITES DU DEPOT :**

L'atelier dépôt régional principal du matériel moteur dirige et coordonne les dépôts et réserves de traction.

- il contrôle l'application et le respect des règles d'entretien, et des programmes d'opérations périodiques de maintenance.
- il assure le suivi de la qualité de la maintenance.
- il élabore et propose le budget annuel de maintenance.
- il assure les révisions accidentelles de moindre importance.
- il assure l'entretien des moyens de manutention et des installations fixes.

Il Assure les opérations de relevage des matériels.

### **I-2-8-1- LABORATOIRES :**

#### **I-2-8-1-1- LABORATOIRE D'ANALYSE D'HUILE :**

C'est le responsable de toutes les analyses d'huile des locomotives, complètes et spectrographiques.

#### **Méthode d'analyse d'huile :**

- On prélève un échantillon d'huile.
- On met un thermomètre dans la tasse.
- On chauffe la tasse jusqu'à **100°C** et on remarque.
- Si il y'a des bulles d'air ou des clics ou des vapeurs ça veut dire que l'huile N'est pas néant alors ici on signale au chef section qu'il ya un problème « fuite - filtre..... ! ».



*Figure I- 3.spectromètre*

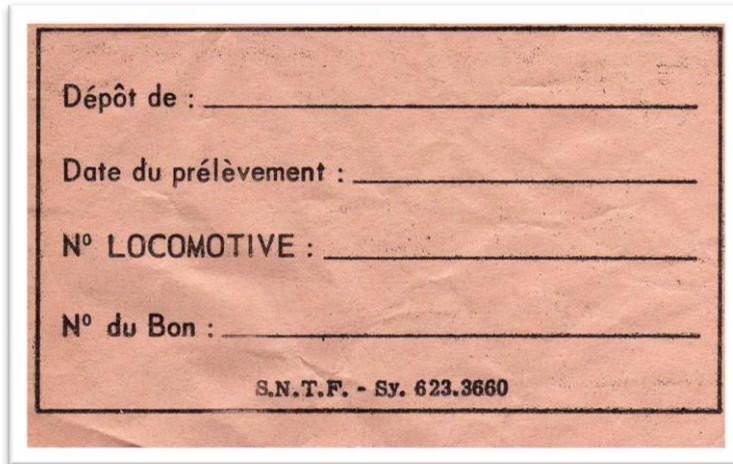
Si l'analyse d'eau est bien.....**NEANT.**

- On met un couvercle spécial sur la tasse d'huile.
- On allume une flamme et la met dans le trou dans la tasse.
- On continue de chauffer l'échantillon jusqu'à **270°C**.
- On observe au thermomètre.
- On tient la température exacte ou la perte de flamme.
- On regarde la courbe de point éclair et on définit le taux de gasoil.

Si le pourcentage du gasoil ne dépasse pas **2%** alors l'analyse d'huile a été effectuée et l'huile montre que les circuits d'eau du gasoil sont bien à la locomotive.

**Rapport :**

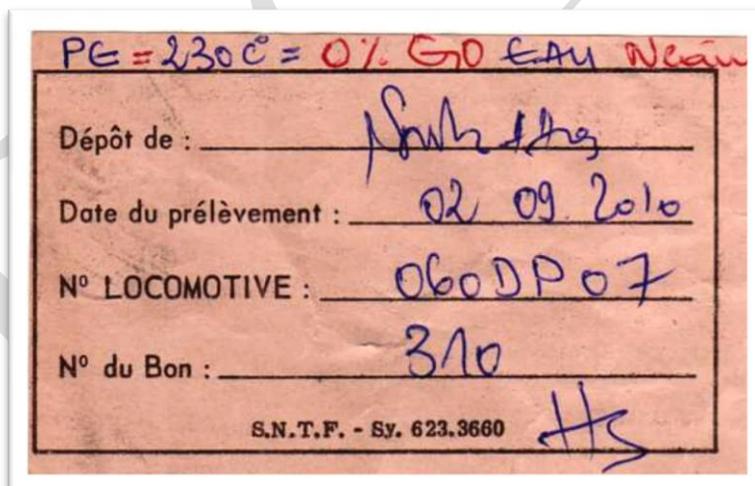
On tient de rédiger un bon qui exprime tous nos résultats, ce bon à la forme suivante :



Dépôt de : \_\_\_\_\_  
Date du prélèvement : \_\_\_\_\_  
N° LOCOMOTIVE : \_\_\_\_\_  
N° du Bon : \_\_\_\_\_  
S.N.T.F. - Sy. 623.3660

*Figure I-4/A – bon d’analyse d’huile vide.*

Et on rédige les résultats en haut de la page comme suit :



PE = 230°C = 0% GO Eau Neau  
Dépôt de : \_\_\_\_\_ *NSH/HS*  
Date du prélèvement : \_\_\_\_\_ *02 09 2010*  
N° LOCOMOTIVE : \_\_\_\_\_ *060DP07*  
N° du Bon : \_\_\_\_\_ *310*  
S.N.T.F. - Sy. 623.3660 *HS*

*Figure I-4/B. Bon d’analyse d’huile rempli*

### **I-2-8-1-2- LABORATOIRE ELECTRONIQUE :**

On y trouve :

- Boitier **H-3692.**
- Boitier **H-3693.**
- Boitier **H-3694.**
- Boitier **H-3695.**
- Boitier **H-3699.**
- Onduleur.
- Hacheur.
- Batteries.
- Régulateur.
- Plaque **PHT 3000 V.**
- Plaque **PHT 1500 V.**



*Figure I-5. Dispositifs électroniques.*

**Outils :**

➤ **Simulateur :**

Banc d'essai des modules « les boitiers ».



*Figure I-5/A. simulateur.*

➤ **Electronique-Hacheur :**

Banc d'essai des boitiers hacheur 92-93-94-95-99.



*Figure I-5/B. électronique – hacheur.*

➤ **Electronique-CVS :**

Lire les informations collectées dans la plaquette.



*Figure I-5/C. électronique CVS.*



*Figure I-5/D. Banc d'essai module thyristor locos 6FE.*



*Figure I-5/E. Multimètre.*

### **Approvisionnement :**

Par un bon de commande, rédigé et signé par le chef de brigade du laboratoire électronique  
, généralement ce sont :

- Résistance de tout type.
- Condensateur.
- GTO.
- Diodes.
- Transistor.
- Câbles électriques, cosses.

### **Rapport :**

On doit enregistrer les titres suivants :

1. Numéro de boîtier.
2. Numéro de série.
3. Date.
4. Référence de la locomotive « émetteur d'organe ».
5. Actions.
6. Date de remise.
7. Référence de la locomotive « récepteur d'organe ».

### **I-2-8-1-3- LABORATOIRE PNEUMATIQUE :**



## **Actions de maintenance :**

La section pneumatique a pour mission de mettre en place des actions différentes conditionnelles « selon les types des pannes habituelles ».

### ➤ **Préventive :**

- ✚ Nettoyage des organes à l'intérieur et à l'extérieur.
- ✚ Débouchage des trous et des orifices d'air.
- ✚ Lubrification.
- ✚ Contrôle périodique par bande d'essai.
- ✚ Etc....

### ➤ **Corrective :**

- ✚ Remplacement des joints déchirés par d'autres « nouveau ou rétabli ».
- ✚ Remplacement rare des organes à l'intérieur.
- ✚ Vérification du bon fonctionnement des pièces par Bande d'essai.
- ✚ Etc.....

## **I-2-8-2- SECTIONS :**

### **I-2-8-2-1- SECTION REMBOBINAGE :**

La section rembobinage gère toutes les actions de maintenance qui concernent les moteurs électriques.

### **Type des moteurs :**

Moteurs électriques de tout type.

### **Outils :**

Des outils simples :

- Caisse.
- Palmer.
- Metrix.
- Rouleaux à tous diamètres du fils émailles « en cuivre ».



*Figure I-6/A. Moteur rembobiné.*

## Assemblage :



*Figure I-6/B. Rembobinage.*

### Sélection du fils :

Fils uniques **200** = fils doublés de **100** « diamètre ».

Fils uniques **400** = fils doublés de **200** « diamètres ».

### Approvisionnement :

On demande du magasin des fils émaillés à un diamètre défini « palmer ».

### Procédure Générale de rembobinage :

- On ouvre le flasque.
- On coupe la bobine.
- On doit nettoyer les encoches « **24** encoches » pour dégager de la poussière.
- On charge les encoches par des canaux en papier isolant.
- On charge les papiers isolants par **12** fils émaillés.

### Remarque :

Le branchement à des aspects spéciaux selon le nombre de tours exigé **1000/1500/2800** tr/min.

- On ferme finalement les encoches par un papier isolant.
- On éjecte les **3** phases et on les accroche avec la plaque à borne.

On ferme le couvercle de moteur.

### **I-2-8-2-2- ANNEXE:**

L'annexe est bien l'atelier qui gère toutes les opérations de maintenance qui concernent les moteurs des différents types Moteurs de traction « Diesel & électrique » et les ventilateurs...etc.



*Figure I-7/A. Dispositif réparables dans l'annexe.*

### **Outils :**

- Caisse.
- Pont rouleau.
- Fraiseuse.
- Méga-mètre.
- Etc.

### **Approvisionnement :**

Toutes les pièces de rechange sont disponibles au niveau de l'annexe comme les câbles, les balais, les portes balais, entre lame, pignon, plaque de frein, pièce à chaud.

### **I-2-8-2-3- SECTION VP DIESEL :**

La section **VP Diesel** est spécialisée dans la maintenance préventive des locomotives diesel **GM**.



*Figure I-8.locomotive diesel.*

### **I-2-8-2-4- SECTION VP ELECTRIQUE :**

Spécialisée pour la maintenance préventive des locomotives électriques **6FE**.



*Figure I-9.locomotive électrique.*

### **I-2-8-2-5- SECTION BOGIE :**

Pour le relevage des biens et le remplacement des pièces lourdes équipées par un pont rouleau de haute puissance.

### **I-2-8-2-6- SECTION ETABLI E:**

Spécialisée dans la maintenance des dispositifs électriques (disjoncteur **UR26**, pantographe....).

### **I-2-8-3- MAGASIN GENERAL :**

#### **Rôle du magasin général :**

Pour l'approvisionnement et la distribution et la comptabilité à l'aide d'un logiciel de gestion de stock et des formulaires bien structurés spécifiques pour les machines électriques.

**MGX ROUÏBA** : spécifique du diesel.

**MGX S/AHRAS** : spécifique du **6FE**.



*Figure I-10. Magasin général.*

**Organigramme :**

**Chef division d'approvisionnement**



**Chef magasin**



**Sous chef magasin**



**Fichiste**



**Réceptionniste**



**Chef distributeur**



**Distributeur**



**Manœuvre**

**La Nomenclature :**

**3021** : Cet imprimé comprend toutes les créations, les modifications et l'état rectificatif ; il doit être approuvé par **XM/XA**.

**Remarque** : le chef magasin refuse cet imprimé si les signatures **XA/XM** ne sont pas éprouvées.

**7021** : c'est le bon de commande, rédigé en **4** volets :

1. Pour la comptabilité.
2. Souche gardée au magasin.
3. Avis d'envoi.
4. Souche gardée par l'utilisateur.

**Type de commandes :**

**A** : commande normale.

**E** : commande urgente.

**Remarque :**

- Le **7021** doit être approuvé par le sous directeur de maintenance, le chef de dépôt, le chef d'atelier principal et le sous directeur technique.
- En cas de pénurie, le bon de commande doit être transféré en dus « commande exceptionnelle ».

**7022** : c'est le bon de versement, spécialisé pour les versements des pièces à reformer, il est accompagné par une décharge.

**722** : c'est le bon de fourniture de bureautique, toutes les demandes doivent être destinées au magasin **MGX**.

**Remarque : 7021 / 7022 / 772** : ce sont des bons de versement à consommation directe sans besoin de comptabilité.

**3432** : c'est des fiches de case, gardées en case pour suivre le mouvement input/output.

**3302** : étiquette de case, à l'enjeu de repérer les pièces en case.

**3408** : fiche de stock, pour suivre les entrées/sorties.

**Remarque** : au **20** de chaque mois, il y'a un rapport financier.

**D-R** : demande d'approvisionnement, en **A** ou **E** en cas de dus, accompagnée par un papier en rouge.

**3492** : fiche demande entrée magasin en 6 exemplaires.

**3413** : bon provisoire, fiche de demande d'approvisionnement entre le chef de brigade/chef section et le magasin, l'utilisateur doit signer dans un registre pour faire sortir les pièces demandées.

#### I-2-8-4- PARC PRINCIPAL :

##### Rôle :

Fournisseur local des pièces de rechange « **en organe** » pour les locomotives électriques et diesel par un stock des matériels nouveaux et rétablis, aussi que l'abîment.

##### Organigramme :

Chef division d'approvisionnement



Chef de brigade



Agents

##### Gestion de stock :

Pour une codification par des étiquettes qui portent :

- Symbole.
- Désignation.
- Référence.

Le stock du parc est contrôlé par une dotation pour chaque élément.

PARC ↔ ATELIER :

##### Pour les organes :

Pour la demande d'une pièce du parc, l'utilisateur « chef de brigade, chef section, ... » présente un **BON PROVISOIRE** au lieu d'un bon **7021** mais tel que la codification n'est pas unifiée, l'opération doit être valide seulement par un bon provisoire, et l'utilisateur remplace l'organe défectueux par un autre nouveau ou rétabli.

##### Pour les outils :

Pour la demande d'outils, le chef de brigade doit présenter un bon provisoire qui présente l'outil et l'ouvrier si l'outil pour le personnel ou seulement le bon pour un outil collectif, après l'utilisation le chef de brigade remet l'outil et récupère le bon.

Parc ↔ Parc Principal :

Les pièces de rechange défectueuses en stock doivent être remises en service, le chef de parc fait une demande d'échange vers la **BPML ROUBA** ; la demande d'échange doit être accompagnée par un rapport d'avarie pour chaque pièce et une demande de réparation en plus l'avis d'envoi.

### Le stock :

Le stock du parc contient les pièces de rechange pour les locomotives diesel et les locomotives électriques en « **organe** » pas comme un élément constitutif « disponible au magasin général ».

À la fin de décembre de chaque année, le gérant du parc fait un inventaire pour faire la mise à jour.

PROCON

## L'ÉQUIPEMENT :

La locomotive **GM** « **GENERAL MOTORS** » est une machine très puissante ayant des capacités très élevées de tonnage. Ces machines sont utilisées dans les grandes entreprises du chemin de fer au monde. A la **SNTF**, il y'a beaucoup de modèles les **DD DF DG DH DJ DL DP DR DS** mais ils ont tous le même comportement sauf que les nouveaux ont des performances très élevées.

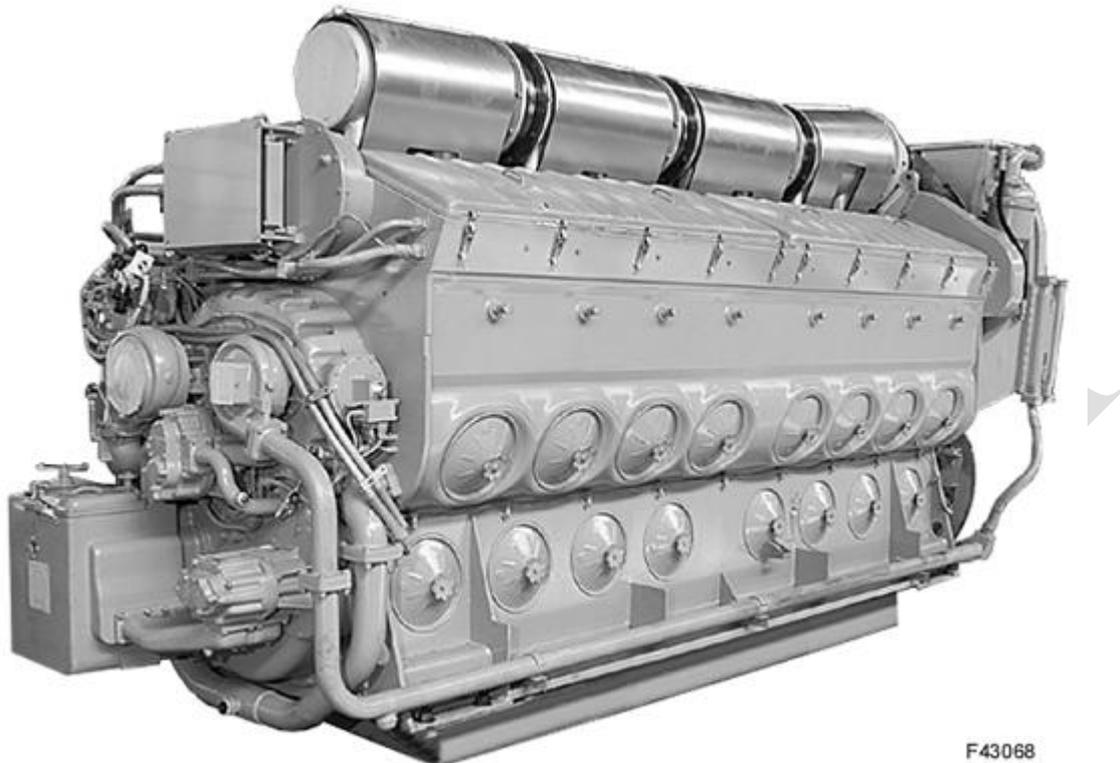
Notre travail concerne l'étude générale à propos de la composition de ces machines lourdes, leur fonctionnement et les actions de maintenance adaptées au niveau du dépôt principal de maintenance des locomotives de la **SNTF** afin d'obtenir la séquence générale de la mise en place du système qui est la gamme supérieure de maintenance et c'est évidemment le **RCM**.



*Figure II-1. Locomotive GM.*

## **II-3- DESCRIPTION DE LA LOCOMOTIVE :**

### **II-3-1- MOTEUR DIESEL TURBO COMPRESSE :**



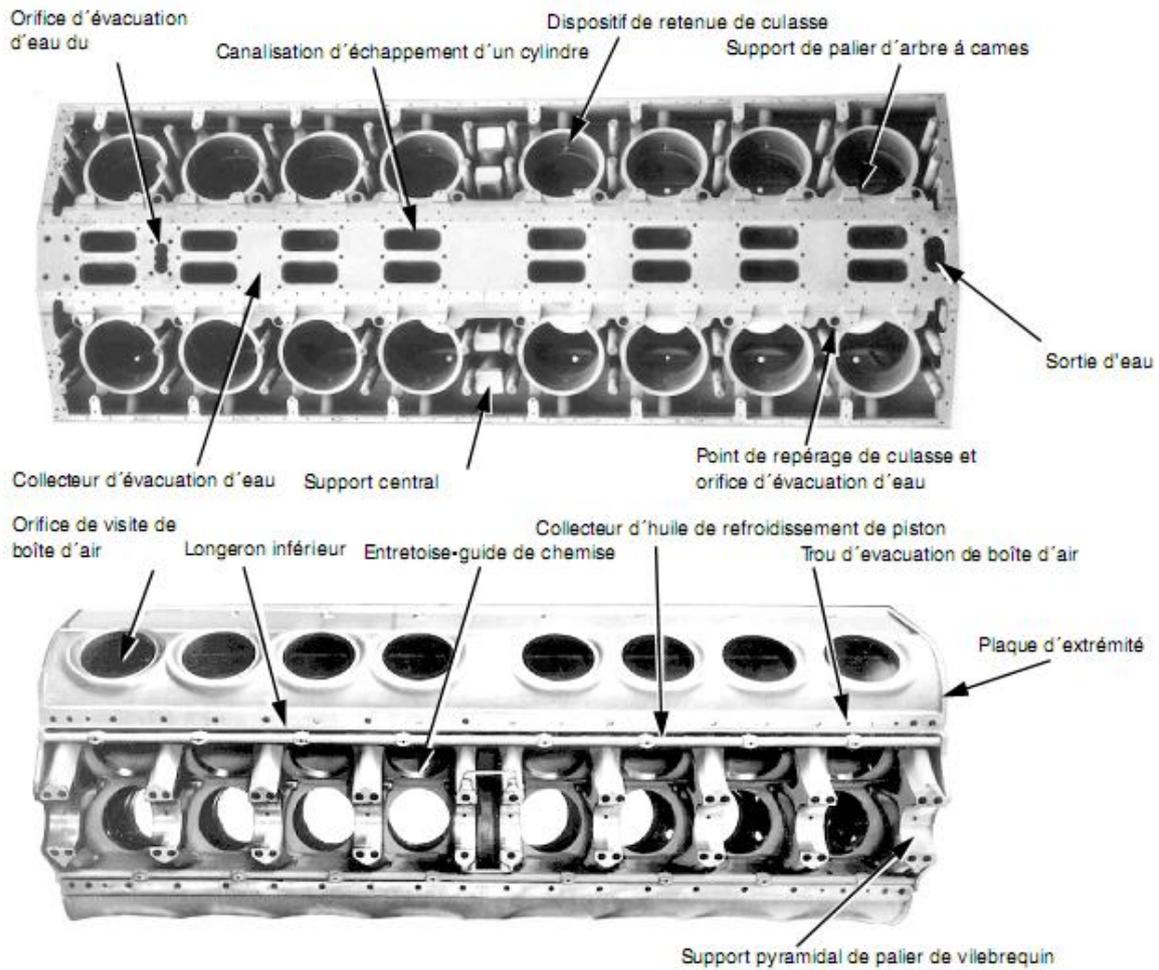
*Figure II-2. Moteur diesel GM 645.*

Les moteurs diesel turbo compressés sont des moteurs deux temps à cylindres disposés en "V". Ils offrent les avantages du faible rapport poids/puissance, du balayage intégral des cylindres, de l'injection solidaire et de la forte compression.

#### **II-3-1-1- CARTER DE MOTEUR ET D'HUILE :**

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 ouvertures dans les panneaux latéraux, pourvues de couvercles équipés de joints d'étanchéité, permettent de faire l'examen des chemises et des pistons ainsi que le nettoyage de la boîte d'air, et donnent accès aux boulons de montage de la chemise d'eau et du carter d'huile.

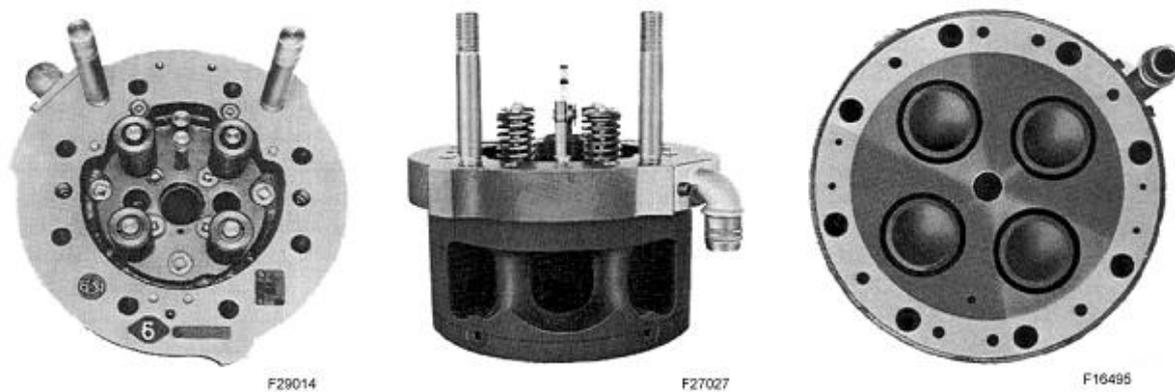


*Figure II-3. Carter de moteur et d'huile.*

### **II-3-1-2- 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 décharge 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'épaule de la culasse. Les canalisations d'échappement à l'intérieur de la culasse arrivent vis-à-vis des coudes du carter du moteur et conduisent les gaz d'échappement à travers la tubulure de sortie d'eau jusqu'au collecteur d'échappement.

Une ouverture au centre de la culasse sert à l'installation de l'injecteur de combustible de l'unité, pour assurer la correcte position de l'injecteur, un trou a été aménagé dans la culasse pour la cheville de repérage de l'injecteur.



*Figure II-4. Culasse.*

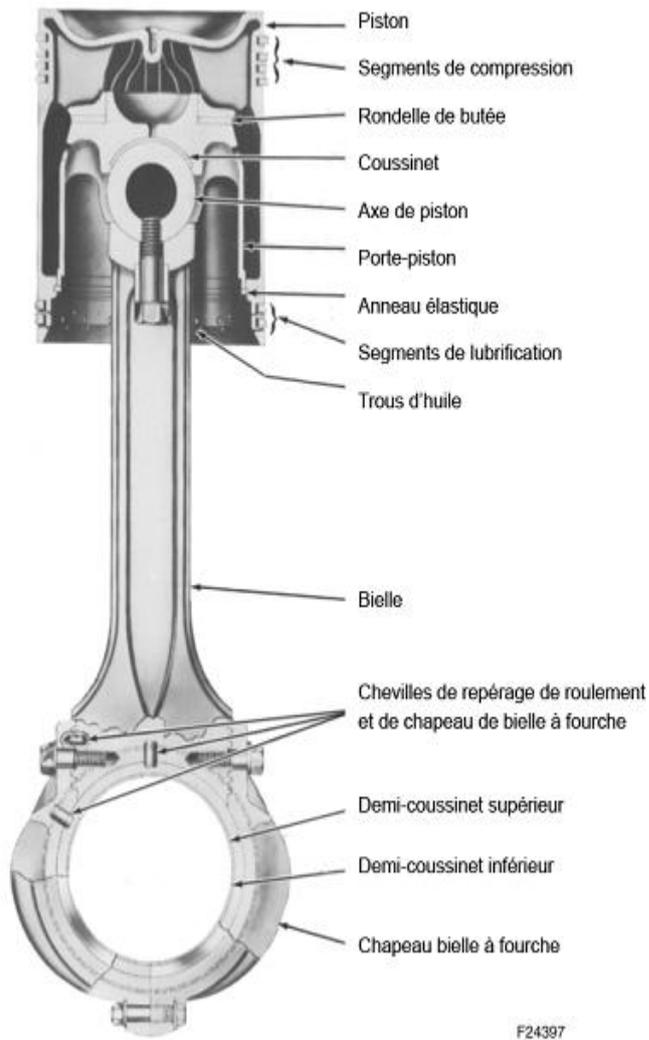
### **II-3-1-3- PISTON ET BIELLES :**

L'ensemble piston comprend un piston à alliage de fonte, quatre segments de compression et deux segments racleurs. 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. Le porte piston supporte le piston à l'épaulement interne du piston, une rondelle de butée est placée entre l'épaulement et le porte piston. Celui-ci est retenu en place, dans le piston par un anneau élastique à l'intérieur. L'huile récupérée par les deux segments racleurs d'huile s'écoule par les passages au bas du piston.

Un coussinet est installé dans une rainure alésée du porte piston. Deux pinces de retenue, une à chaque extrémité, sont boulonnées au porte piston pour empêcher le coussinet de glisser hors de son siège à l'intérieur du porte piston. L'axe du piston, très poli, est installé dans le porte piston et dans le coussinet et le tout est boulonné à l'extrémité supérieure de la bielle.

L'axe du piston et le coussinet sont du type « **à bascule** » décentré. Ceci produit, à la cour d'un cycle de puissance, une séparation, tour à tour sur les trois surfaces de portée entre l'axe et le coussinet. Ceci crée un pompage pour la circulation de l'huile sur l'axe et le coussinet.

Les pièces internes du piston sont lubrifiées et refroidies par l'huile de refroidissement, l'huile de refroidissement passe à travers la canalisation du porte piston, lubrifie le dessous de la tête de piston puis s'échappe à travers les deux trous situés à la conicité du porte piston.



*Figure II-5. Bielle.*

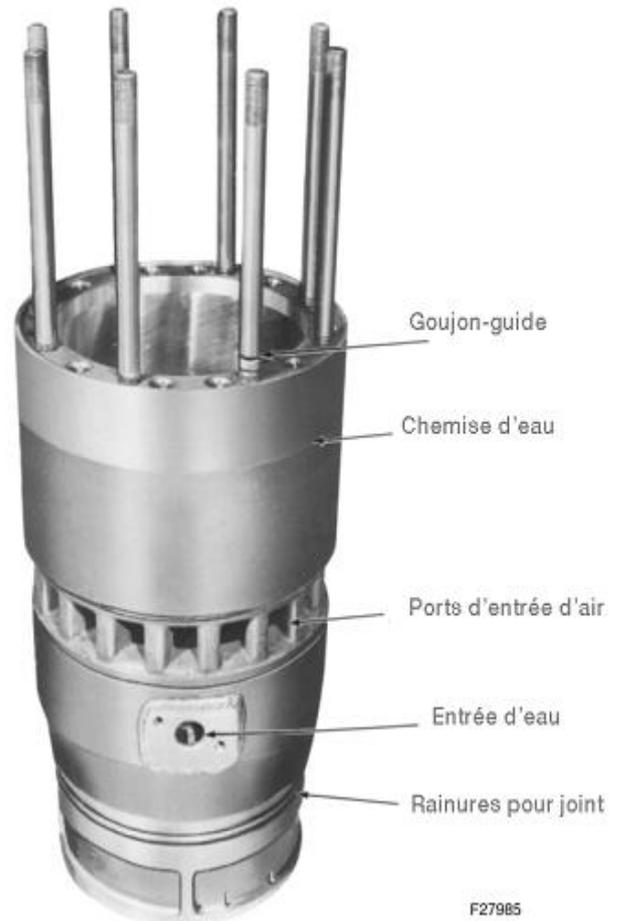


*Figure II-6. Piston.*

#### **II-3-1-4- 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.

L'eau circule autour du bas de la chemise, progressant vers le haut pour se décharger dans la culasse à travers douze perforations, un contre alésage autour de chaque perforation accommode un part-chaueur en téflon et un joint d'étanchéité aux silicones qui scelle la canalisation d'eau quand la culasse est en place. Un joint d'étanchéité en acier enrobé de cuivre sert de joint de combustion entre la culasse et la chemise.



*Figure II-7. Chemise de cylindre.*

#### **II-3-1-5- VILEBREQUIN :**

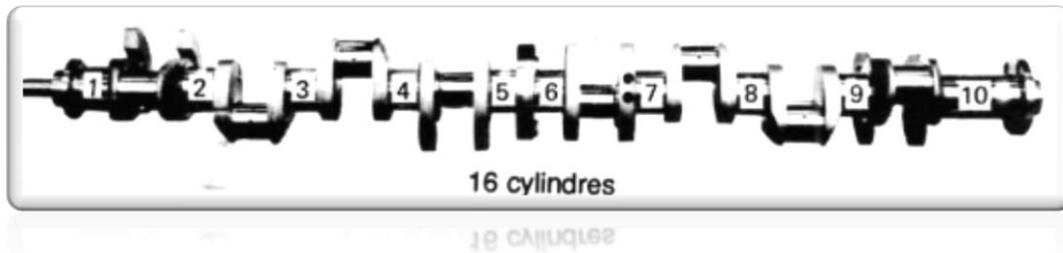
Le vilebrequin est constitué du vilebrequin proprement dit, des paliers de vilebrequin et des chapeaux, de l'arceau de butée, de l'amortisseur de vibration, et du pignon d'entraînement de l'équipement accessoire. Bien que le pignon de l'équipement accessoire fasse partie du vilebrequin, il sera décrit comme faisant partie de la distribution de l'équipement accessoire.

La distribution de l'équipement accessoire transmet la puissance du vilebrequin au mécanisme des pompes à huile, de la pompe à eau et du régulateur centrifuge.

#### **Description :**

Le vilebrequin est une pièce forgée en acier à carbone dont les tourillons et les manetons ont été traités par induction. Dans notre moteur de **16** cylindres, le vilebrequin est constitué de deux sections dont les raccords sont boulonnés ensemble, des contrepoids sont ajoutés pour donner un fonctionnement stable... tous les vilebrequins sont dynamiquement équilibrés.

Les conduits d'huile perforés assurent la lubrification des paliers de vilebrequin comme le montre cette figure.

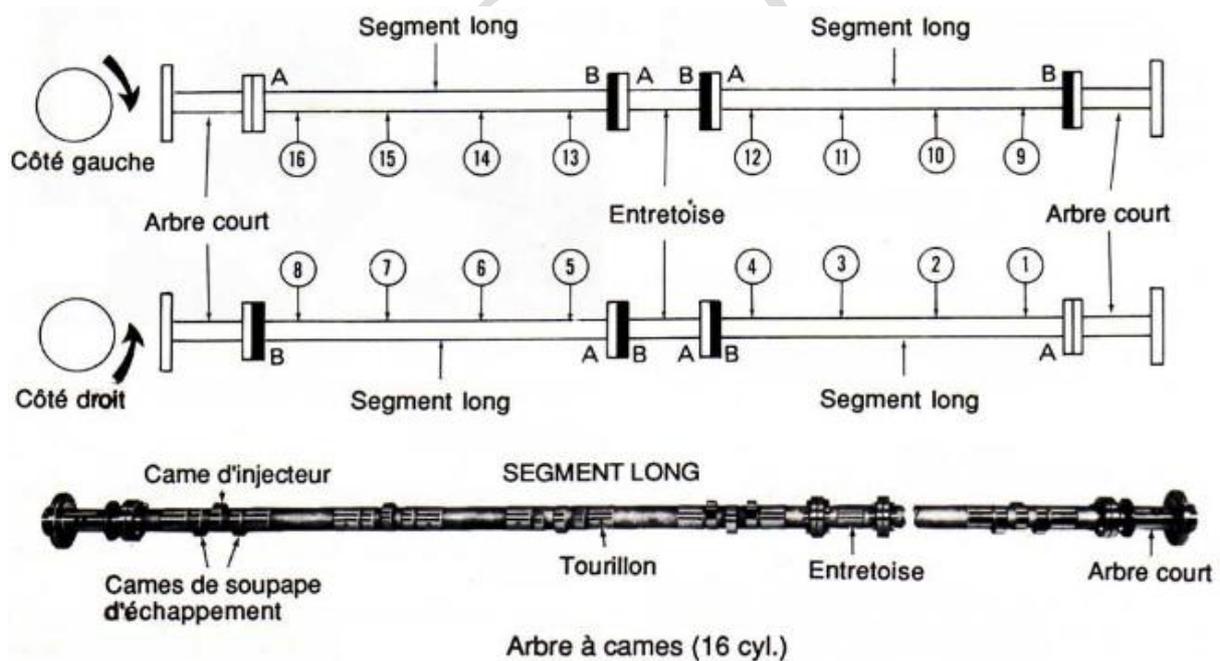


*Figure II-8. Vilebrequin.*

Des vilebrequins avec arbres courts pour équipement accessoire boulonnés sont disponibles pour les moteurs 12 & 16 cylindres.

### II-3-1-6- ARBRES A CAMES :

L'arbre à cames comprend des segments à flasque auxquelles sont montés les arbres courts avant et arrière et sur les moteurs 16 cylindres une entretoise placée entre les segments centraux. Chaque flasque couvre quatre cylindres, les flasques des segments sont marqués pour aider à les monter correctement, à chaque cylindre, il y'a deux cames d'échappement, une came d'injecteur et deux tourillons. A chaque cylindre, deux paliers équipés de coussinets à dos d'acier, garnis de régule à base de plomb supportent l'arbre à cames.

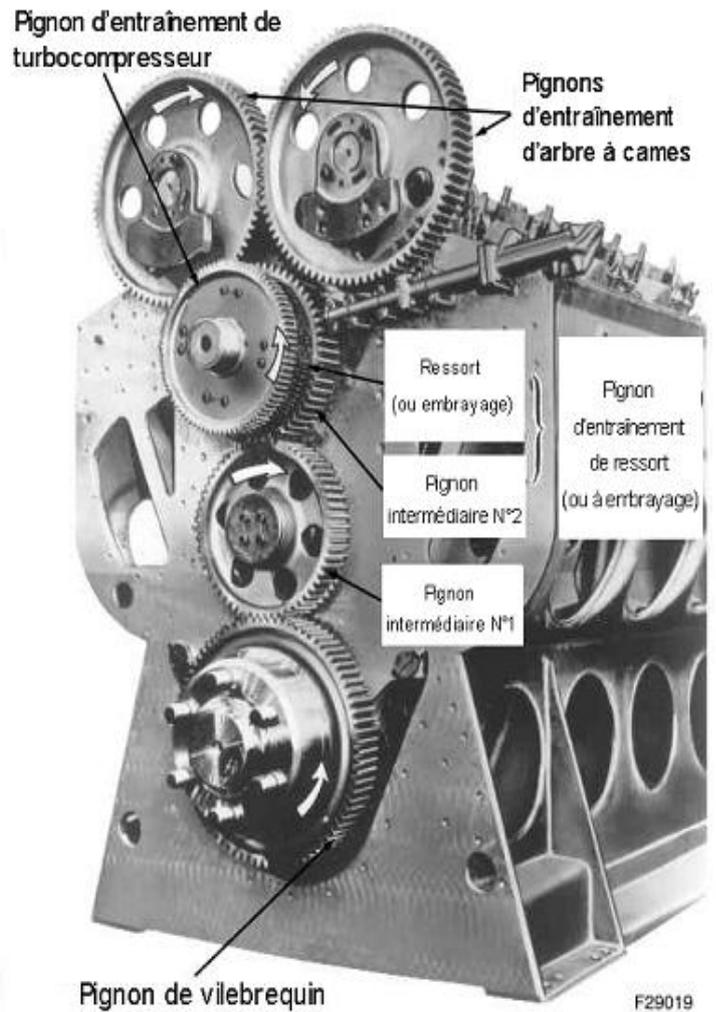


*Figure II-9. Arbre a cames.*

### II-3-1-7- DISTRIBUTION D'ARBRE A CAMES :

La puissance nécessaire pour faire fonctionner les arbres à came et le turbo compresseur, avant qu'il ne se mette à tourner librement, est fournie par la distribution, à l'arrière du moteur. La figure suivante montre la distribution avant que le carter d'entraînement d'arbre à cames et le turbo compresseur soient installés.

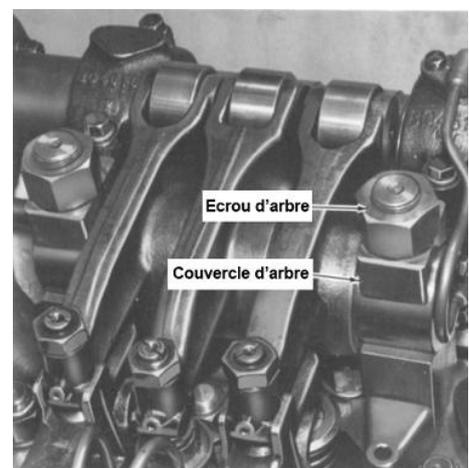
Le train d'engrenage comprend un pignon de vilebrequin monté sur le vilebrequin, le pignon intermédiaire N°1, un pignon d'entraînement à ressort, et les pignons d'entraînement de l'arbre à cames gauche et droit, le pignon d'entraînement à ressort est constitué du pignon intermédiaire N°2, des ressorts et du pignon d'entraînement du turbo compresseur.



*Figure II-10. Distribution d'arbre a cames.*



*Figure II-11. Culbuteur.*



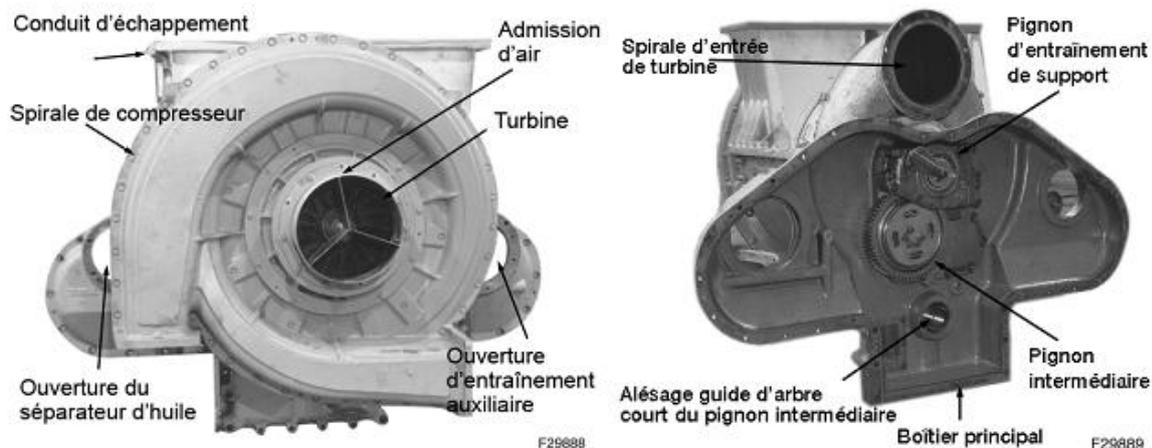
*Figure II-12. Axe culbuteur.*

## II-3-2- SYSTEME D'AIR ET D'ECHAPPEMENT :

### II-3-2-1- TURBO COMPRESSEUR :

Le turbo compresseur sert principalement à augmenter la puissance du moteur et à diminuer la consommation de combustible par l'utilisation des gaz d'échappement, le turbocompresseur à une turbine à étage simple avec train d'engrenage. Celui-ci 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 entrainer la turbine assez rapidement pour fournir l'air nécessaire pour la combustion. En fait, le moteur entraine le turbo compresseur au moyen du train d'engrenage 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 entrainer le turbo compresseur sans aide du moteur à ce point. L'embrayage à roue libre dans le train d'engrenage se désengage et l'entraînement du turbocompresseur est mécaniquement débranché du train d'engrenage du moteur.

L'arbre de la turbine est entrainé par le train d'engrenages du moteur par l'intermédiaire d'une série de pignons dans le turbocompresseur. Un pignon d'entraînement de turbocompresseur, qui fait partie du pignon d'entraînement à ressort, s'engrène avec le pignon intermédiaire du turbocompresseur, l'arbre du support entraine le pignon soleil sur l'arbre de la turbine au moyen de trois planétaires quand le turbocompresseur est entrainé par le moteur. Le pignon soleil s'engrène avec les planétaires qui, à leur tour, s'engrènent avec une couronne dentée dans l'embrayage à roue libre. La couronne dentée est stationnaire, quand le moteur entraine la turbine, parce que le sens du couple exercé par la couronne dentée verrouille l'embrayage à roue libre, quand la turbine est entrainée uniquement par l'énergie des gaz d'échappement. Le sens de couple est inversé et l'embrayage se met en roue libre, permettant à la couronne dentée de tourner.

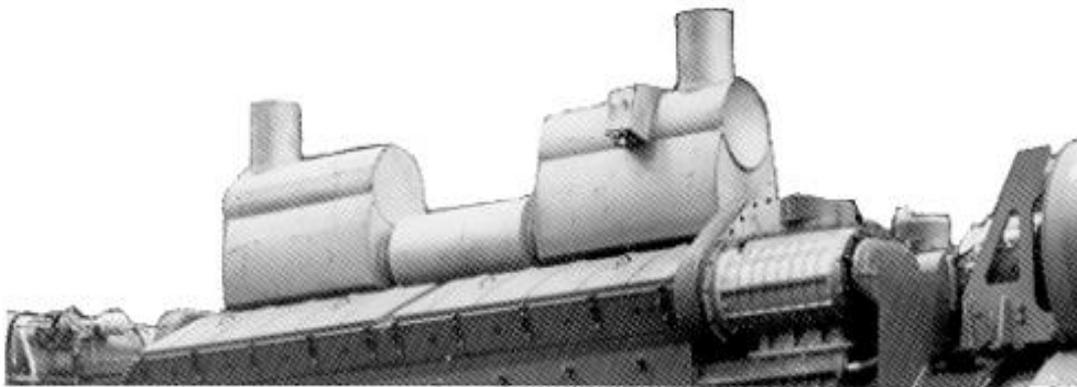


*Figure II-13. Turbo compresseur.*

### **II-3-2-2- COLLECTEUR D'ÉCHAPPEMENT :**

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

Le collecteur d'échappement est constitué des 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.



*Figure II-14. Collecteur d'échappement.*

### **II-3-3- LE SYSTEME DE GRAISSAGE :**

#### **Description :**

Le circuit de graissage complet du moteur est un ensemble groupant trois circuits séparés ; ce sont le circuit de graissage complet, le circuit de refroidissement des pistons et le circuit de reprise d'huile. Chaque circuit à sa propre pompe à huile. La pompe à huile principale et la pompe à huile de refroidissement des pistons, bien que séparées, sont contenues dans un même carter et entraînées par un arbre de transmission commun ; la pompe à huile de reprise est une pompe séparée, toutes les pompes sont entraînées par la distribution de l'équipement accessoire à l'avant du moteur. Les pièces de circuit de graissage complet et un tableau schématique de la circulation de l'huile sont montrés dans cette figure.

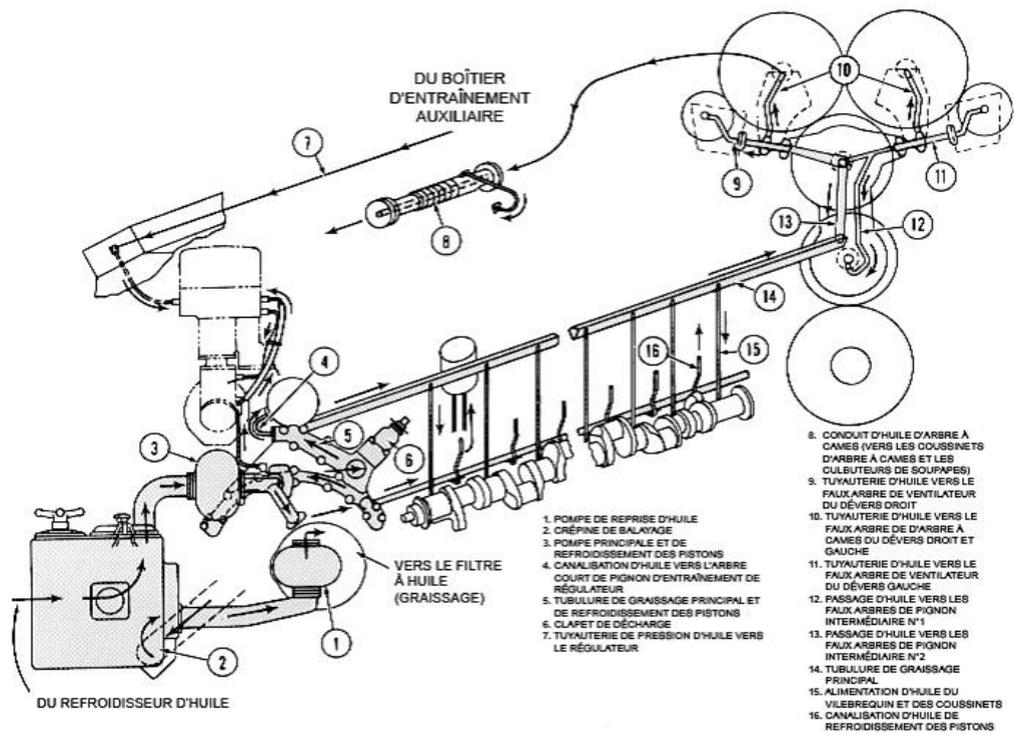


Figure II-15. Système de graissage.

#### II-3-4- SYSTEME DE REFOIDISSEMENT :

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).

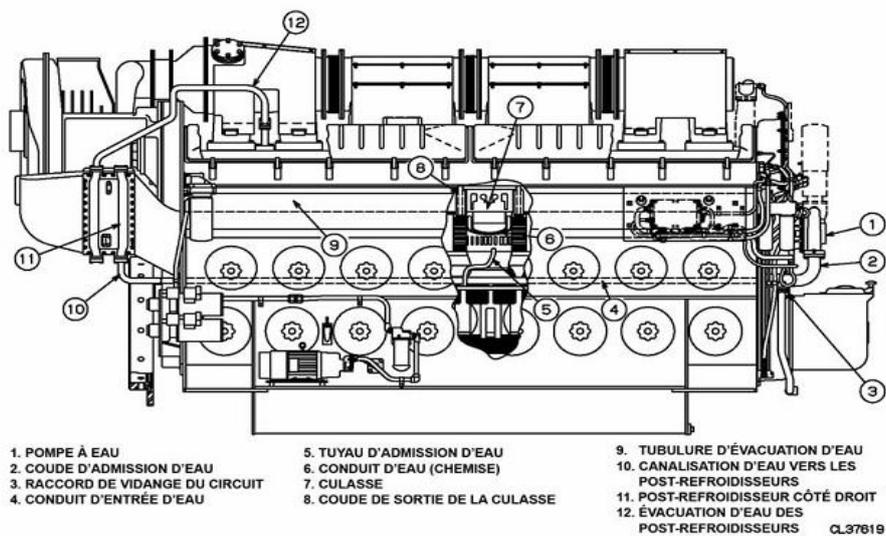
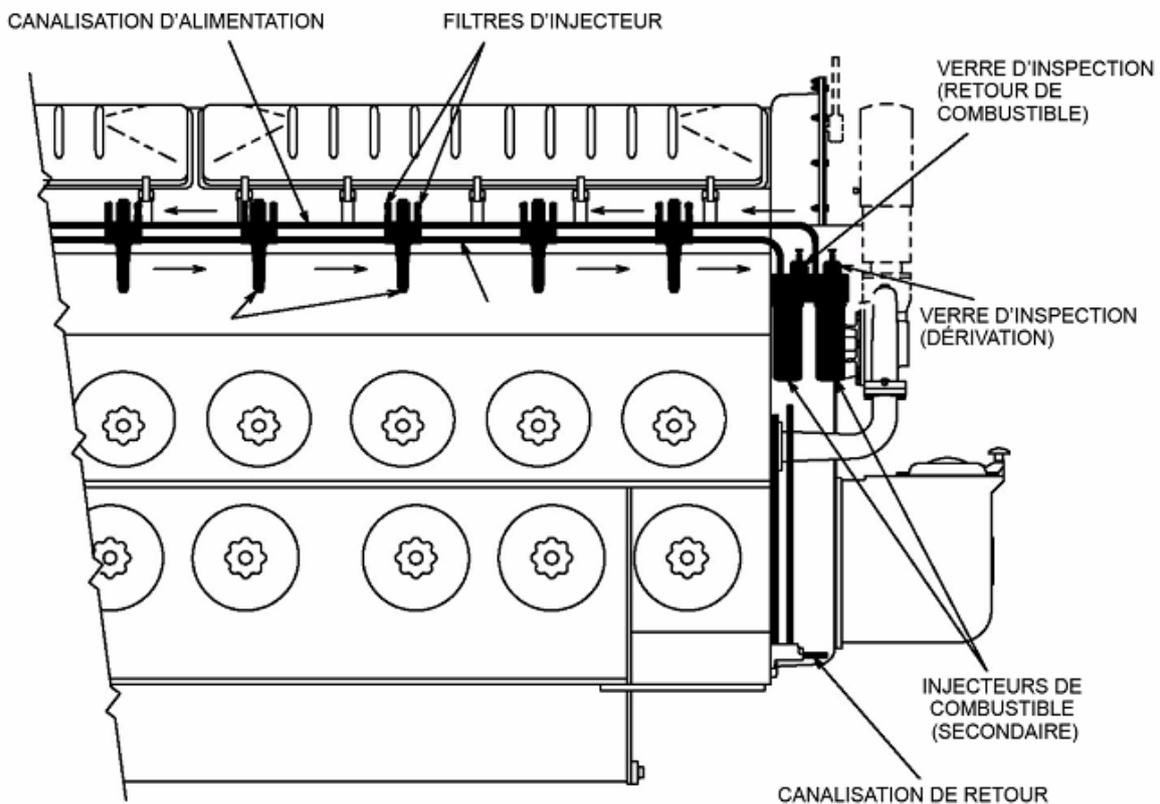


Figure II-16. Système de refroidissement.

### II-3-5- SYSTEME D'ALIMENTATION :

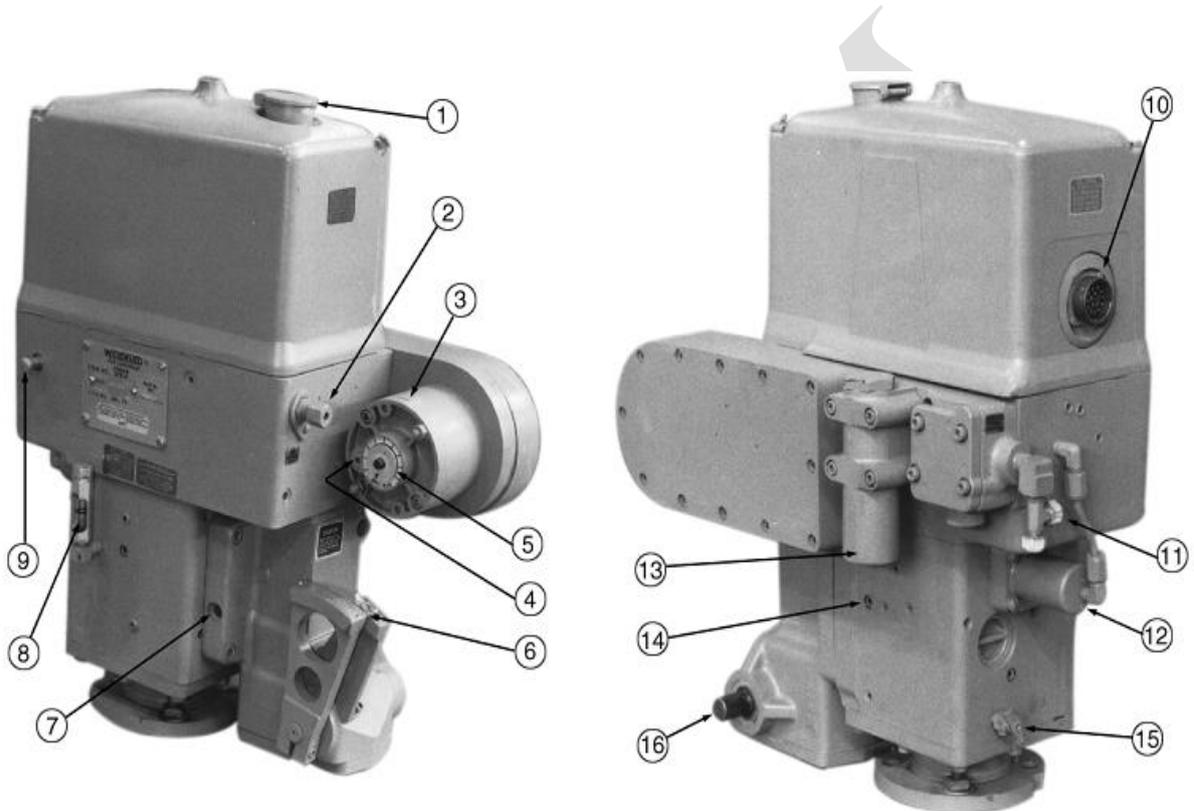
Le système d'alimentation du moteur, comprend les injecteurs, les filtres à combustible montés au moteur et les tubulures d'alimentation et de retour de combustible. Des éléments extérieurs du moteur tels que la pompe à combustible entraînée par moteur, le réservoir à combustible, la crépine d'aspiration 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 livrée à chaque injecteur est "pompée" dans le cylindre, sous très forte pression, à travers le pointeau et le nez de l'injecteur.



*Figure II-17. Système d'alimentation.*

### II-3-6- REGULATEUR :

Le régulateur **PGEV**, à limitation et à rééquilibrage, est 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.



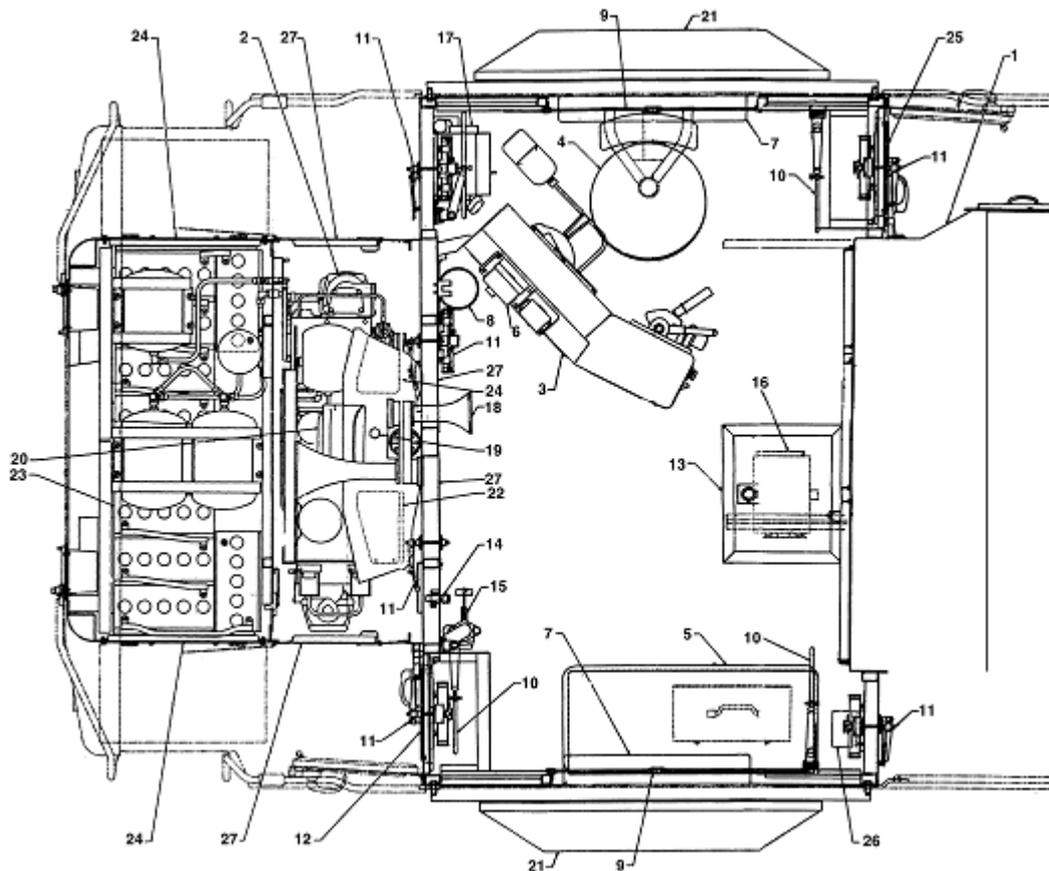
- 1. Filtre à huile
- 2. Raccord de pression de boîte à air
- 3. Vanne Servo
- 4. Plongeur de prise d'essai de pression Servo
- 5. Indicateur de position de rhéostat
- 6. Échelle d'arbre terminal

- 7. Soupape à pointe de compensation
- 8. Verre d'inspection de niveau d'huile
- 9. Arrêt en cas de pression d'huile trop faible
- 10. Boîtier électrique
- 11. Raccord de pression d'huile moteur

- 12. Accumulateur temporisé
- 13. Filtre à huile Sevo de ré-équilibrage
- 14. Bouchon d'évent
- 15. Robinet de vidange d'huile
- 16. Commande d'arbre de sortie

*Figure II-18. Régulateur.*

## II-3-7- CABINE DE CONDUITE :



*Figure II-19. Cabine de conduite.*

- |                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| 1- Armoire électrique.                | 20-Plares.   |
| 2-Support d'équipement.               | 21-Marquises.  |
| 3-Pupitre de commande.                | 22-Portes d'accès aux numéros d'unité.                                       |
| 4-Siège de mécanicien.                | 23-Batteries srx 1000 (10).  |
| 5-Siège secondaire et boîte à outils. | 24-Portes d'accès aux batteries.   |
| 6-Indicateur de vitesse.              | 25-Portes arrière de la cabine.  |
| 7-Accoudoir (2).                      | 26-Unité de téléchargement sur carte mémoire de l'enregistreur d'événements. |
| 8-Extincteur.                         | 27-Portes d'accès (support de freins pneumatiques).                          |
| 9-Fenêtre latérales.                  |  |
| 10-Pares-soleils (2).                 |  |
| 11-Essuies-glaces.                    |  |
| 12-Porte avant de la cabine.          |  |
| 13-Trappe.                            |  |
| 14-Soupape de klaxon.                 |  |
| 15-Soupape de freinage d'urgence.     |  |
| 16-Enregistreur d'événements.         |  |
| 17-Chauffage.                         |  |
| 18-Klaxon.                            |  |
| 19-Sifflet.                           |  |

### **II-3-8- BOGIE :**

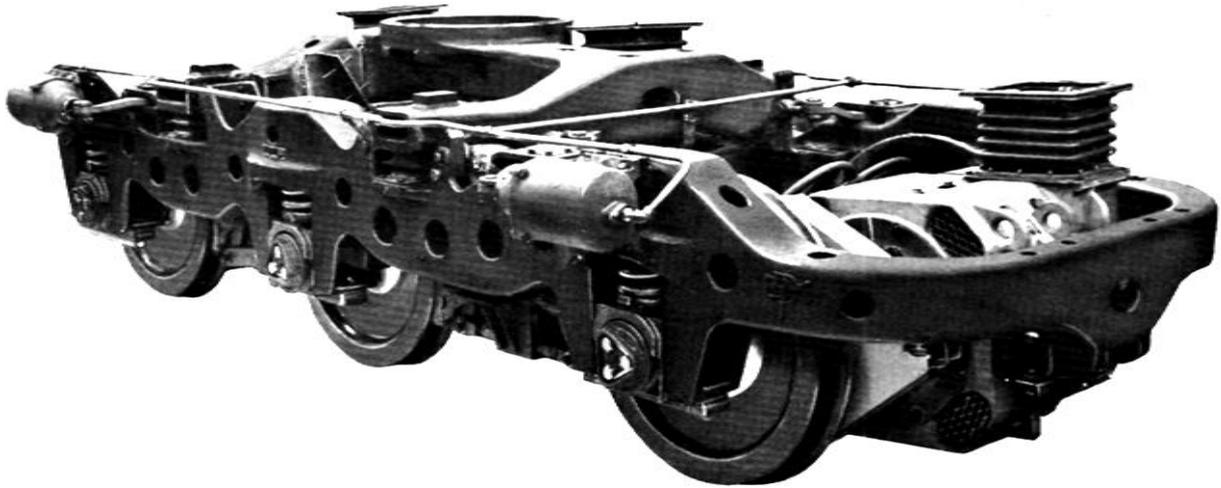
Un bogie, typique à trois moteurs et six roues, est équipé de moteur de traction pour écartement standard. Ces bogies sont fabriqués avec différents châssis latéraux et deux des quatre extrémités du « H » sont maintenues entre les socles verticaux qui font partie intégrale du châssis du bogie. De cette manière, la force motrice du bogie est transmise au coussin et les arrêteurs du coussin limitent le mouvement latéral de ce dernier. Des pistons de friction chargés par ressorts sont placés aux extrémités du socle du coussin amortissant le mouvement vertical des ressorts. Le palier central du coussin reçoit le palier central du corps de la locomotive, deux liaisons dont une est visible, relie le coussin au châssis principal, mais permettent le mouvement vertical du coussin. La liaison de sécurité empêche également la séparation du coussin de l'ensemble du bogie.

Le châssis de bogie principal est supporté par des ressorts au dessus de chaque boîte d'essieu. Deux ensembles à deux ressorts à boudin doubles sont utilisés à chaque boîte d'essieu et le châssis du bogie. Chaque boîte d'essieu est maintenue entre deux socles qui font partie intégrale du châssis du bogie, les socles sont reliés à la partie inférieure par une barre de liaison boulonnée à la partie inférieure de chaque socle. Les embases des socles des boîtes d'essieux limitent le mouvement latéral des boîtes d'essieux. Les ressorts à boudin des boîtes d'essieux et les ressorts entre le châssis du bogie principal et le coussin absorbent les vibrations et les chocs au cours de fonctionnement de la locomotive.

Les pistons à cylindres de frein sont connectés aux leviers de frein pour actionner l'équipement de freinage ; des freins à sabots unique, ou des freins à mâchoires sont disponibles.

Chaque moteur de traction est supporté par son propre essieu moteur et par un système de suspension de nez en caoutchouc qui se trouve sur l'une des traverses du châssis de bogie. De l'air de refroidissement propre est fourni au moteur de traction par la conduite d'air, un ensemble de soufflet fixé à la partie inférieure du corps de la locomotive est en contact, mais libre de se déplacer sur l'embase de la prise d'air du moteur de traction lorsque le corps de la locomotive est supporté par le bogie. Dans certains cas, les soufflets flexibles sont montés sur les moteurs de traction et sont libres de se déplacer par rapport au corps de la locomotive.

Une boîte à sable est montée à chaque coin du châssis du bogie, des pièges à sable sont installés à la partie inférieure de chaque boîte à sable. Des conduites d'air sont connectées à chaque piège à sable et une conduite d'application de sable s'étend de chaque piège à sa roue respective.



*Figure II-20. Bogie a menotte.*

### **II-3-9- COMPRESSEUR :**

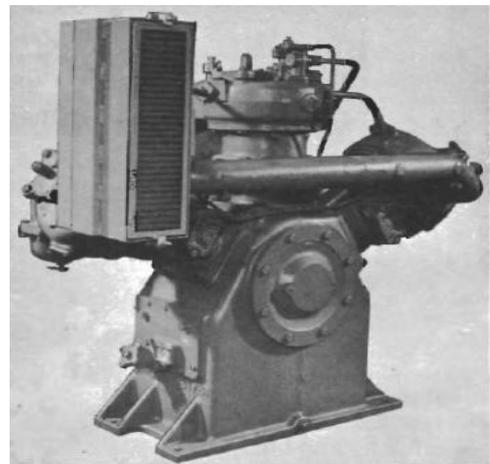
#### **Description :**

L'air comprimé est utilisé pour actionner les freins pneumatiques de la locomotive et les dispositifs auxiliaires tels que les sablières, les vérins de commande des volets, l'avertisseur, la sonnette et les essuie-glaces. L'air est également requis pour la vaporisation du carburant fournit à la génératrice de vapeur « si monté ».

#### **Phénomène :**

L'air comprimé provient d'un compresseur d'air refroidi par eau à carter profond, à deux étages, et à trois cylindres « six cylindres en option ». Le compresseur est entraîné par des accouplements flexibles par l'extrémité avant du vilebrequin du moteur.

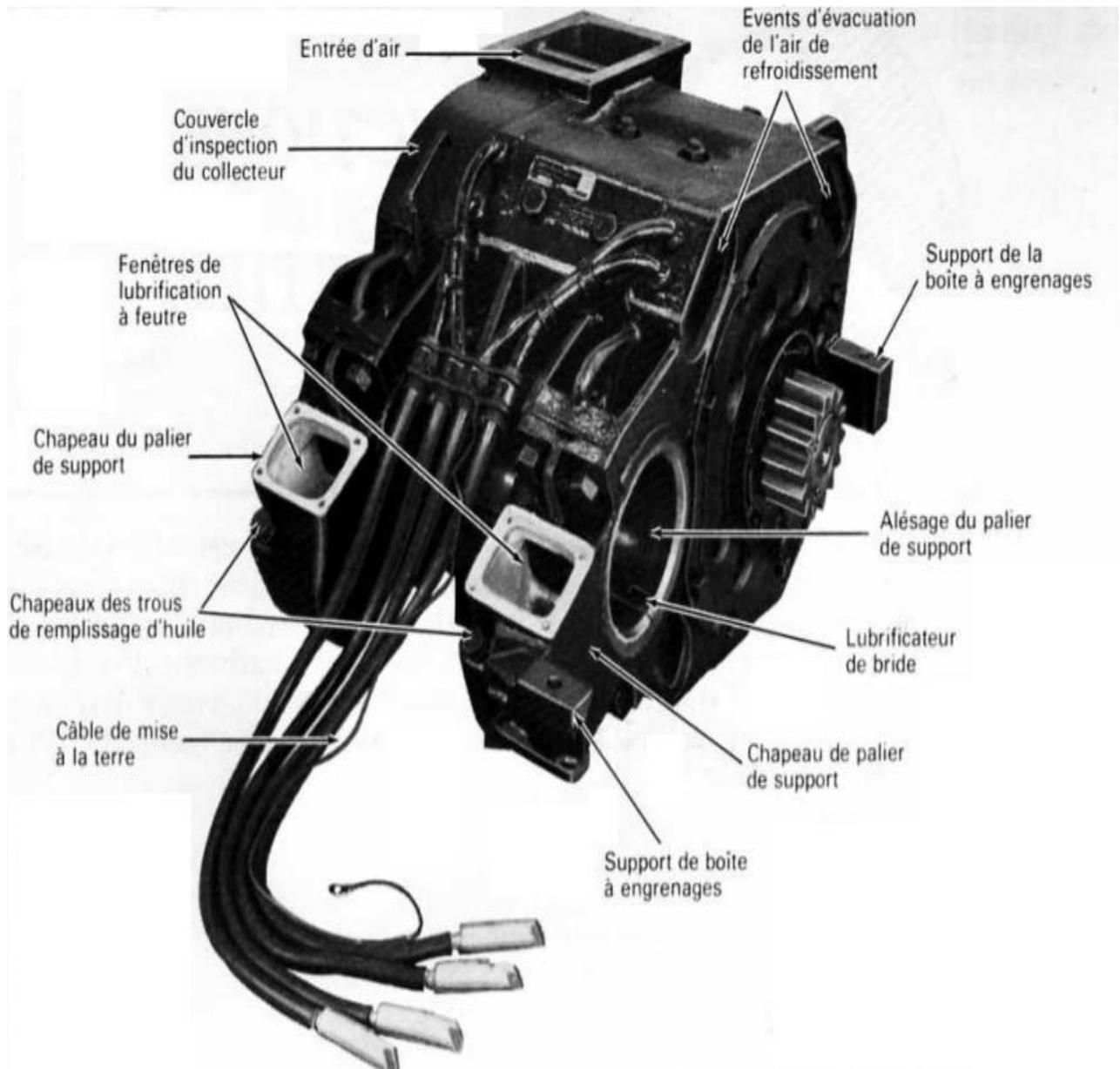
Le compresseur possède sa propre pompe de graissage et son propre système de graissage sous pression. Lorsque le moteur tourne, le niveau d'huile dans le carter du compresseur peut être vérifié sur l'indicateur du type à flotteur. Au ralenti, l'huile de graissage étant à la température de fonctionnement, la pression de l'huile devrait être d'environ **1,05 à 1,4 kg/cm<sup>2</sup>**. Une ouverture obturée, dans le bloc de soupape de décharge, est prévue pour le montage d'un manomètre de pression d'huile.



*Figure II-21. Compresseur d'air.*

Le compresseur possède deux cylindres de basse pression et un cylindre de haute pression. Les pistons des trois cylindres sont entraînés par le même vilebrequin. Les deux cylindres de basse pression sont inclinés par rapport au cylindre vertical de haute pression. L'air provenant des cylindres de basse pression se rend dans un refroidisseur complémentaire refroidi par eau avant de pénétrer dans le cylindre de haute pression. Le refroidisseur complémentaire est muni d'une soupape de décharge et d'une ouverture obturée pour le montage d'un manomètre.

### II-3-10- MOTEUR DE TRACTION :



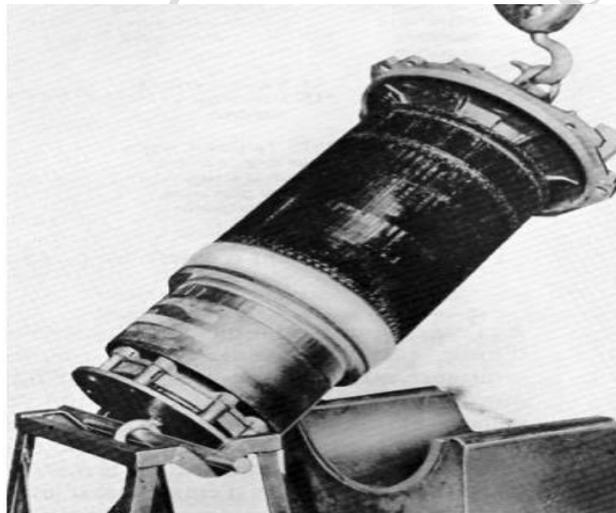
*Figure II-22. Moteur de traction.*

Le moteur de traction se compose du :



*Figure II-23. Stator.*

**Stator** : il se compose de 4 bobines principales et 4 bobines secondaires.



*Figure II-24. L'induit.*

- **Rotor** : c'est l'induit et le dispositif tournant au stator.
- **Porte balais** : comporte les balais pour l'excitation électrique et le freinage rhéostatique.
- **Collecteur** : une plaque en cuivre qui tourne selon les tours du rotor et frotte les balais situés dans la porte balais.

## LE PHENOMENE :

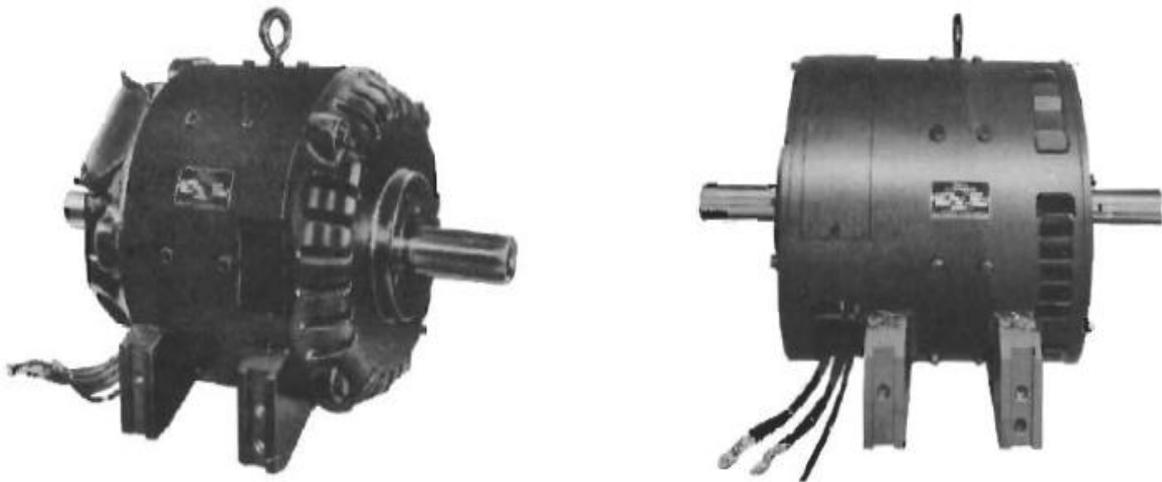
L'énergie électrique de la génératrice principale est distribuée aux moteurs de traction montés dans les bogies et chaque moteur est relié par engrenages à une paire de roues, les moteurs sont refroidies par une soufflerie externe située dans la locomotive.

Les inducteurs et les induits des moteurs sont branchés en série pour fournir le couple élevé de démarrage requis par la locomotive.

## II-3-11- GENERATRICE AUXILIAIRE :

La génératrice auxiliaire est une génératrice de courant continu, auto-excitée, à régime variable, excitée en dérivation, d'une puissance de sortie de **10 kilowatts**, Une génératrice auxiliaire de **18 kilowatts** est disponible sur commande spéciale. Un régulateur de tension transistorisé est utilisé pour ajuster la tension de sortie à **74 volts** à des régimes de génératrice compris entre **825 et 3000 tr/mn**.

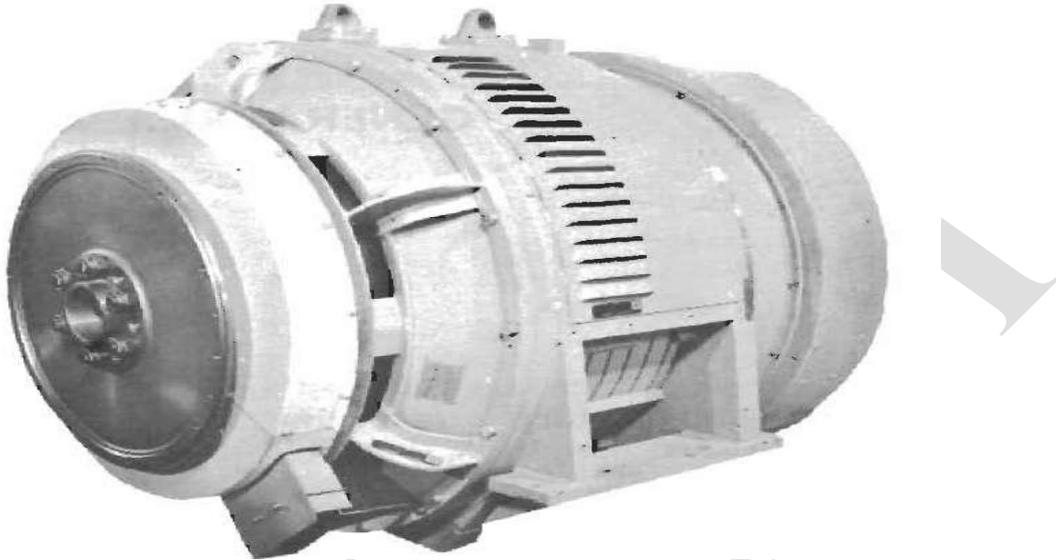
La génératrice auxiliaire est entraînée par le moteur diesel, par l'intermédiaire d'un accouplement souple et fournit le courant continu requis par les circuits d'éclairage, les circuits de commande, l'ex- citation de l'alternateur **D14**, la charge des accumulateurs et les autres systèmes à basse tension continue. La génératrice auxiliaire tourne à un régime qui est environ trois fois supérieur à celui du moteur diesel.



*Figure II-25. Génératrice auxiliaire.*

### **II-3-12- ALTERNATEUR D14 :**

L'alternateur **D14**, est une génératrice de courant alternatif triphasé, à induit fixe, à inducteur pivotant, à tension variable, à fréquence variable et à connexion en étoile. La sortie nominale de l'alternateur **D14** est de **215 volts à 120 cycles par seconde** lorsque le moteur diesel tourne à **900 tr/mn**.



*Figure II-26. Alternateur D14.*

L'alternateur **D14** est mécaniquement relié à la génératrice principale mais en est indépendant au point de vue électrique. L'ensemble de l'alternateur **D14** et de la génératrice principale est relié directement au vilebrequin du moteur diesel.

L'alternateur **D14** fournit le courant nécessaire au moteur de soufflerie de filtre, aux moteurs de soufflerie de radiateur, à l'excitation de la génératrice principale et aux différents circuits de contrôle. L'excitation de l'alternateur **D14** est normalement fournie par la génératrice auxiliaire. A l'exception d'un fusible de protection, il n'existe pas de dispositif de contrôle dans le circuit d'excitation de l'alternateur **D14**. De ce fait, l'alternateur **D14** sera excité et produira de l'énergie chaque fois que le moteur diesel tourne.

### II-3-13- GENERATRICE PRINCIPALE AR10 :

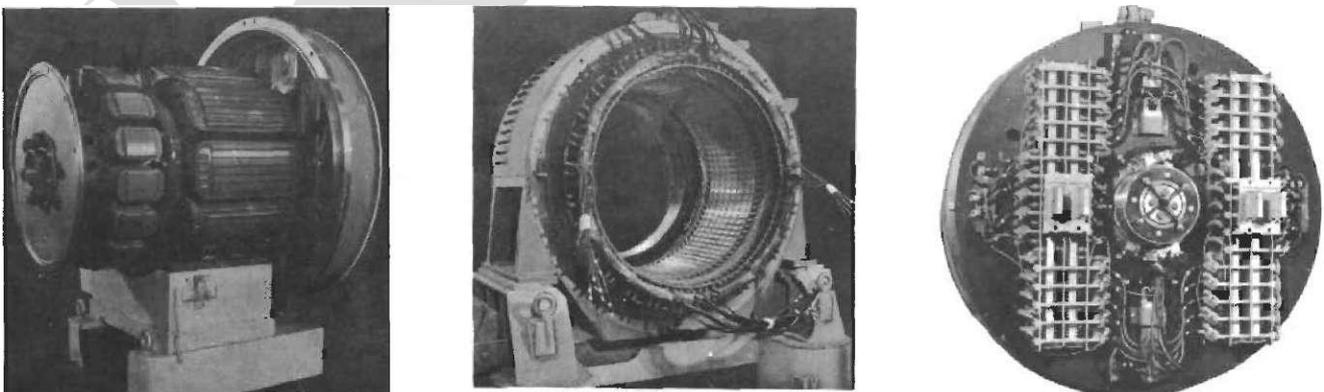
Dans la locomotive diesel électrique, l'énergie mécanique développée par le moteur diesel est transformée en énergie électrique par une machine électrique rotative. La construction des génératrices électriques rotatives est telle qu'elles produisent un courant alternatif, mais étant donné que le courant alternatif ne propulsera pas efficacement des moteurs à régime variable, le courant alternatif doit être redressé pour pouvoir être utilisé dans les moteurs de traction. Habituellement, le courant alternatif est transformé en courant continu à l'aide de segments de collecteur et de balais. Ce système possède des limitations mécaniques et électriques qui deviennent critiques au fur et à mesure qu'une énergie plus importante est développée par des moteurs diesel plus grands et améliorés.

Sur les locomotives turbo chargées plus récentes, la génératrice classique de courant continu a été remplacée par un alternateur **AR 10** utilisant des diodes au silicium pour effectuer le travail des segments de collecteur et des balais.

L'ensemble de l'alternateur **AR 10** se compose de deux alternateurs triphasés - un alternateur de traction et un alternateur associé - refroidis par air et excités par courant continu, reliés l'un à l'autre mécaniquement mais indépendants l'un de l'autre au point de vue électrique.

L'alternateur de traction se compose de **10** pôles inducteurs et des enroulements nécessaires de stator pour la production de courant alternatif triphasé. Le courant alternatif est redressé par deux rangées de diodes au silicium, refroidies par air et faisant partie intégrale de l'ensemble **AR10**, et le courant continu produit est utilisé pour la traction.

L'alternateur associé est le **D14** qui est utilisé pour l'excitation de l'alternateur de traction, pour fournir le courant alternatif d'actionnement des ventilateurs, de refroidissement, de l'évacuateur de poussière et pour certains dispositifs de commande à excitation. L'excitation de l'alternateur **D14** provient d'une génératrice auxiliaire de courant continu qui fournit également l'énergie nécessaire pour charger les batteries, pour le fonctionnement du système de distribution et pour les commandes.

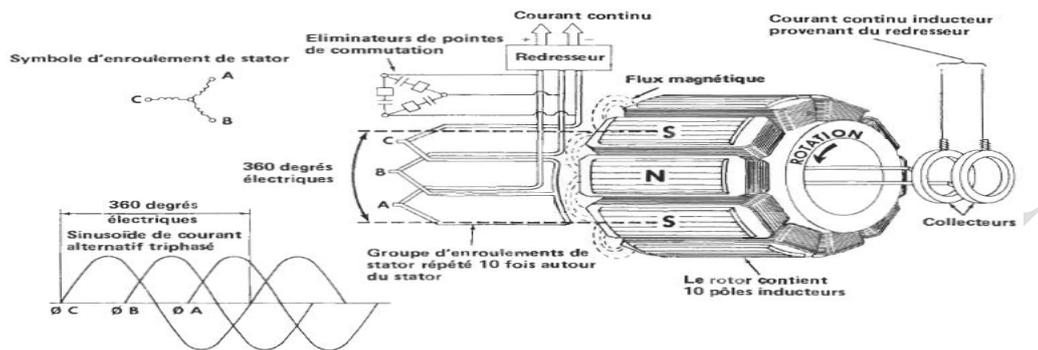


*Figure II-27. Ensemble génératrice principale AR10.*

### **II-3-14- L'ALTERNATEUR DE TRACTION :**

Le courant continu provenant de l'ensemble redresseur au silicium passe au travers des collecteurs de l'altérateur dans lesquels sont contrôlés les enroulements polaires d'induit. Les lignes de flux magnétique développées par couper les enroulements du stator lorsque le rotor pivote.

Le courant dans les enroulements de stator, lesquels sont branchés à l'étoile, est dirigé vers une rangée redresseuse. Une sinusoïde montrant le courant alternatif triphasé d'un groupe d'enroulements du stator est présentée à la figure suivante.

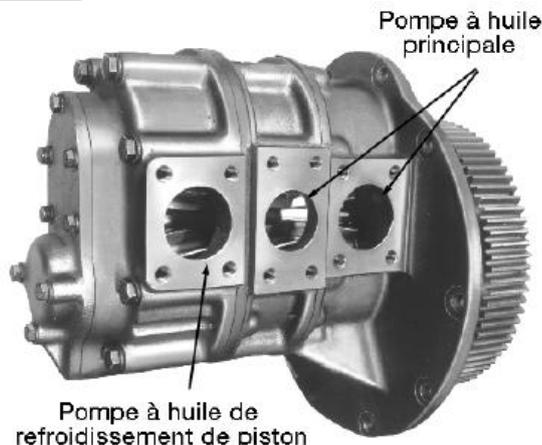


*Figure II-28. Vue schématique de l'alternateur.*

### **II-3-15- POMPES :**

#### **II-3-15-1- POMPE PRINCIPALE ET POMPE DE REFROIDISSEMENT DES PISTONS :**

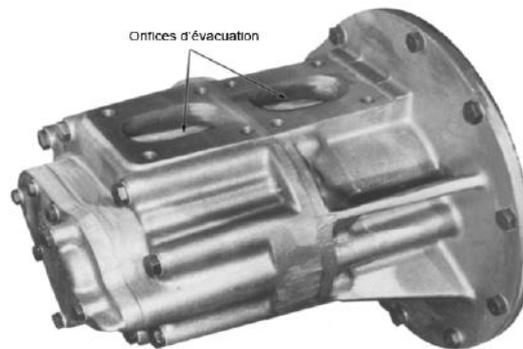
Sur les moteurs 8, 12 et 16 cylindres, les deux pompes sont séparées par une tôle séparatrice placée entre les sections du corps de la pompe. Chaque pompe a son entrée d'huile et orifice d'évacuation individuel. Les pignons à l'extrémité de la pompe de refroidissement des pistons sont plus étroits que 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.



*Figure II-29. Pompe principale.*

### **II-3-15-2- POMPE DE REPRISE « MOTEUR16 CYLINDRES » :**

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'arrêteurs 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.



*Figure II-30. Pompe de reprise.*

### **II-4- FONCTIONNEMENT DU MOTEUR DIESEL :**

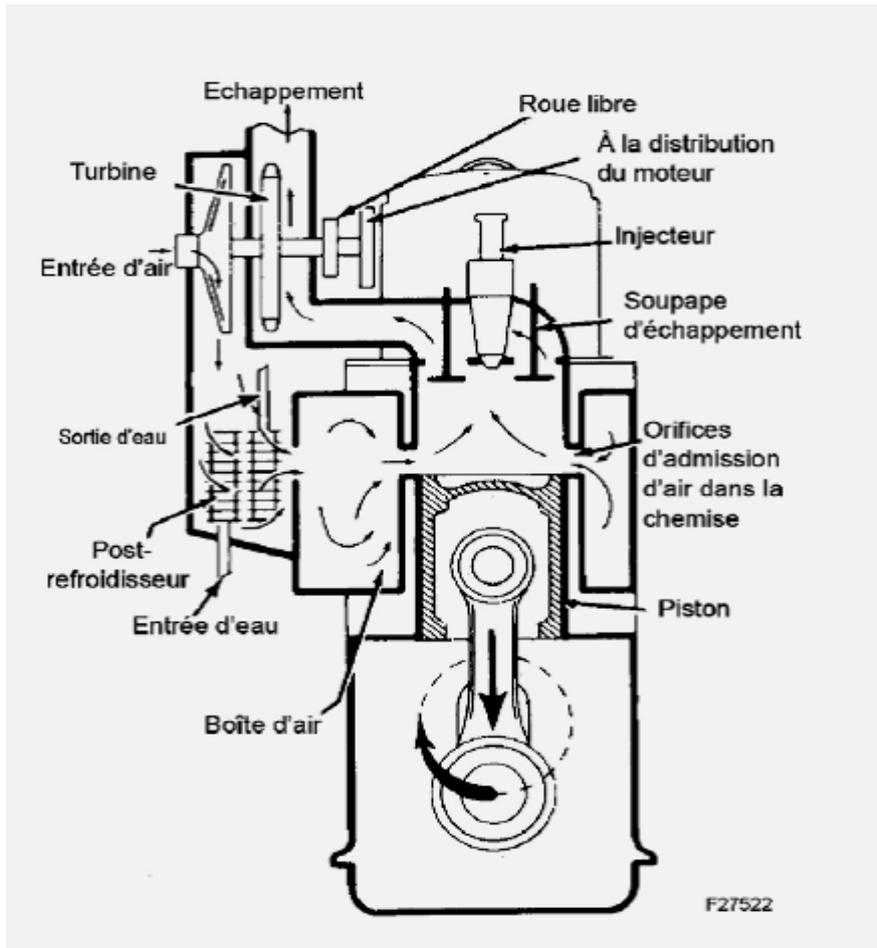
Pendant le fonctionnement du moteur, le turbocompresseur utilise l'énergie calorifique de l'échappement du moteur ainsi que la puissance du train d'engrenages de l'arbre à cames pour entraîner la turbine. Cependant, lorsque l'énergie calorifique de l'échappement est suffisante pour entraîner la turbine, l'engrenage est désengagé par un embrayage à roue libre. La turbine entraîne alors une soufflante centrifuge qui fournit l'air nécessaire au moteur.

L'air provenant de la soufflante centrifuge est comprimé à une pression plus élevée et de même à une température plus élevée. Il est préférable de réduire la température de l'air pour en augmenter la densité avant qu'il ne pénètre dans la boîte d'air entourant les cylindres. On réduit la température de l'air en le faisant passer dans les post-refroidisseurs pour fournir de l'air de densité relativement plus élevée et contenant plus d'oxygène et envoyé au moteur.

En supposant que le piston est au bas de sa course et qu'il commence juste à monter, les orifices d'admission d'air et les soupapes d'échappement seront ouverts. L'air sous pression entre dans le cylindre par les orifices de la chemise, pousse le reste des gaz d'échappement de la course de combustion précédente, à l'extérieur, à travers les soupapes d'échappement, et remplit le cylindre d'air frais. Quand le piston est à  $45^\circ$  après le point mort bas, les orifices d'admission d'air seront fermés par le piston. Peu après que les orifices d'admission d'air se sont fermés, les soupapes d'échappement seront également fermées, et l'air frais sera confiné dans le cylindre. La fermeture des soupapes d'échappement après celle des orifices d'admission d'air assure le meilleur balayage possible des imbrûlés.

Pendant que le piston continue de monter, il comprime l'air confiné en un très petit volume. Juste avant que le piston atteigne le point mort haut, l'injecteur pulvérise le combustible dans le cylindre. L'inflammation du combustible est pratiquement instantanée, à cause de la température très élevée de l'air comprimé confiné dans le haut du cylindre. Le combustible s'enflamme rapidement pendant que le piston est repoussé vers le bas dans sa course de combustion. Comme le montre le schéma de distribution, le piston continue de descendre, poursuivant sa course de combustion jusqu'à ce que les soupapes d'échappement s'ouvrent.

Les soupapes d'échappement s'ouvrent avant les orifices d'admission d'air pour permettre à la plus grande partie des imbrûlés de s'échapper et pour réduire la pression dans le cylindre. Quand les orifices d'admission d'air sont découverts par le piston à  $45^\circ$  avant **P.M.B**, pendant qu'il continue de descendre, l'air de la boîte d'air sous pression peut immédiatement entrer dans le cylindre, balayant les imbrûlés restant dans le cylindre et fournissant l'air frais pour la combustion. Le piston se trouve de nouveau au point de départ original et le cycle se répète.



*Figure II-31. Fonctionnement du moteur 645 GM.*

### **III-5- RCM :**

Peu d'entreprises pensent encore aujourd'hui que " **la maintenance est un mal nécessaire** ". Cependant, peu d'entre elles réalisent que le moindre accroc dans l'efficacité ou la pertinence de la maintenance peut avoir des conséquences indirectes extrêmement préjudiciables pour d'autres fonctions de l'entreprise. Un manque de fiabilité d'un équipement peut générer : des retards de livraison, des pertes de clients, des stocks de produits finis plus importants, des difficultés de trésorerie, des heures supplémentaires, de la fatigue inutile voire même des problèmes de sécurité. La connaissance du matériel, de ses faiblesses, dégradations et dérives, complétées jour après jour, permet des corrections, des améliorations et sur le plan économique, des optimisations ayant pour objet la réduction des coûts de maintenance. La maintenance basée sur la fiabilité (**RCM**), comme procédé pour identifier des conditions de l'entretien préventif des systèmes complexes, a été identifiée et acceptée dans beaucoup de domaines industriels, comme l'usine sidérurgique, aviation, réseau ferroviaire.

On traite dans cette partie, l'optimisation de la maintenance par la **RCM** (Maintenance Basée sur la Fiabilité) puis on la complète tout en proposant une démarche d'optimisation qui a pour finalité de rendre le champ d'action de la méthode plus efficace et plus efficiente. Ensuite, on applique l'étude à une ligne de production qui présente des problèmes de fiabilité au sein de la **SNTF**.

#### **III-5-1- GENERALITES ET OBJECTIFS DE LA RCM :**

La maintenance basée sur la fiabilité a pour but :

- ✚ Élaborer un programme de maintenance préventive optimisé, ayant pour but la sûreté de fonctionnement et la sécurité des moyens de production, en tenant compte des aspects économiques.
- ✚ L'amélioration de l'organisation de la maintenance, ceci malgré le manque de ressources générales observées. C'est la marche initiale nécessaire pour aller vers la certification de l'entreprise.

La conservation des données de maintenance et de production (base de données pour le retour d'expérience) est également un objectif non négligeable de cette méthode. Il est très important que le programme de maintenance préventive s'approche d'un niveau optimal afin de minimiser les risques de défaillance, tout en conservant une capacité de service maximale des moyens de production et en dégagant des facteurs de gains dans les entreprises. Cette optimisation doit donc s'appuyer sur une optimisation technique (obtention du plan de maintenance technique (**PMT**)) suivi d'une évolution économique tenant compte des contraintes organisationnelles et conduisant un plan de maintenance optimisé (**PMO**) ; la mise en œuvre de cette étape pourra conduire très souvent à une diminution des coûts de maintenance à performance égale.

La modification des équipements dans le temps, le vieillissement des installations et matériels, induisent un besoin complémentaire de définition des plans de maintenance rendant caduque les préconisations des constructeurs.

Le but de chacun est l'obtention d'un outil de production sûr de fonctionnement à un coût raisonnable. La **RCM** entre tout naturellement dans la partie « logistique de maintenance » de la notion de la sûreté de fonctionnement. C'est pourquoi la **RCM** s'appuie sur une méthodologie d'élaboration d'un programme de maintenance préventive pour les équipements (en exploitation) au moyen d'une approche logique, structurée, pragmatique et sûre.

Un certain nombre d'apports de la démarche **RCM** peuvent être évoqués dès à présent, ils sont souvent difficiles à quantifier et sont évidemment fonction du type d'industrie et des moyens mis en œuvre pour mettre en place la **RCM**. La maintenance peut être vue sous les trois aspects organisationnels, techniques et humains, les bénéfices attendus se décomposent selon ces trois aspects.

La mise en place d'un plan de maintenance optimisé dans l'entreprise qui s'appuie sur la démarche **RCM** provoque souvent une diminution du nombre de tâches de maintenance préventives qui sont supprimées ou remplacées par de la maintenance corrective ; la maintenance conditionnelles augmente ; le besoin en pièce détachées diminue et le remplacement est mieux justifié. Une remise en cause de certaines solutions de conception peut aussi être recommandée. La **RCM** est un outil de justification en conception et en exploitation.

### **III-5-2- OUTILS DE LA RCM :**

Cette approche **RCM** utilise différents outils issus des méthodes déjà bien connues tels que la matrice de criticité, les grilles d'analyse des modes de défaillances, de leurs effets et de leur criticité (**AMDEC**) et le logigramme de décision.

La matrice de criticité permet d'apprécier l'impact des défaillances des équipements sur des critères tels que la sécurité, la disponibilité et la qualité.

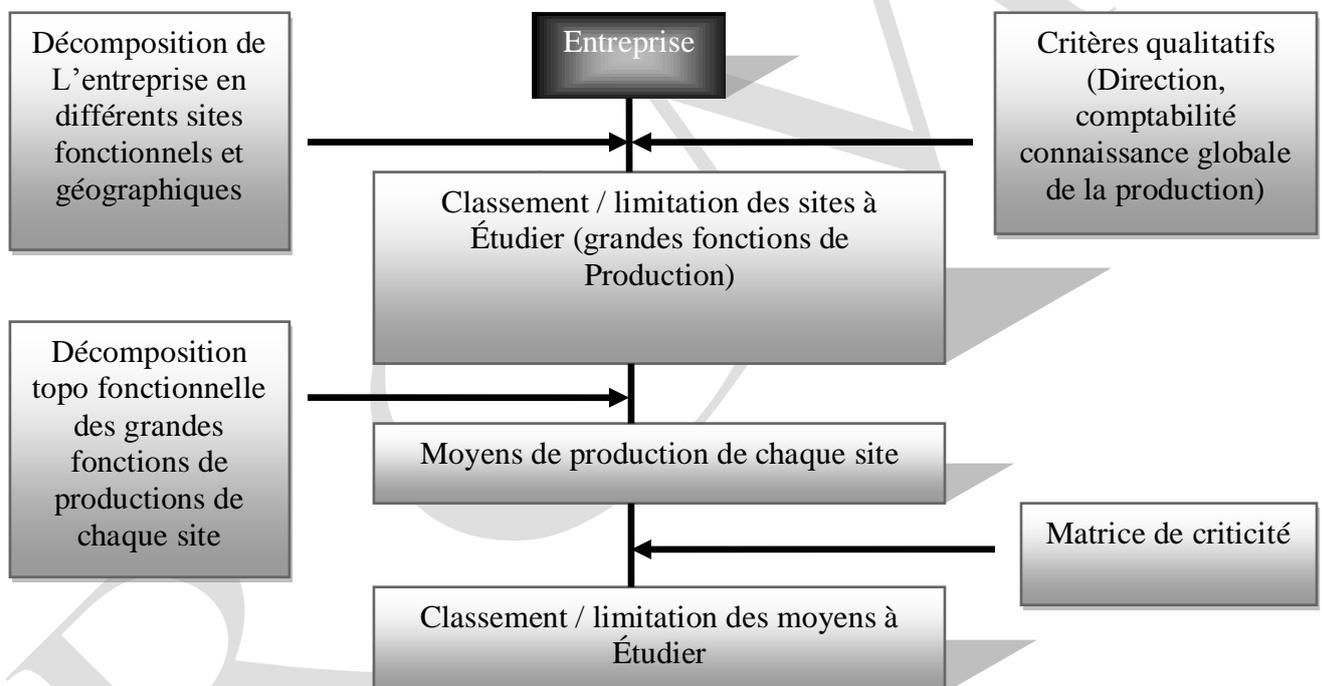
La grille **AMDEC** définit l'importance relative des défaillances, de leurs causes et de leurs effets, Le logigramme de décision sert en fonction du type de défaillance, à identifier le type de conséquence sur les équipements et à définir le niveau des actions de maintenance à mettre en œuvre.

L'application de la **RCM** nécessite une bonne connaissance des équipements ainsi que de leurs défaillances, de même que l'impact de ces défaillances. C'est pourquoi l'implication de l'ensemble des opérateurs, techniciens et experts de l'entreprise est indispensable pour obtenir des résultats souhaités et souhaitables tant au niveau de la sûreté de fonctionnement, de la sécurité que des coûts globaux.

### III-5-3- LES ETAPES DE LA METHODE :

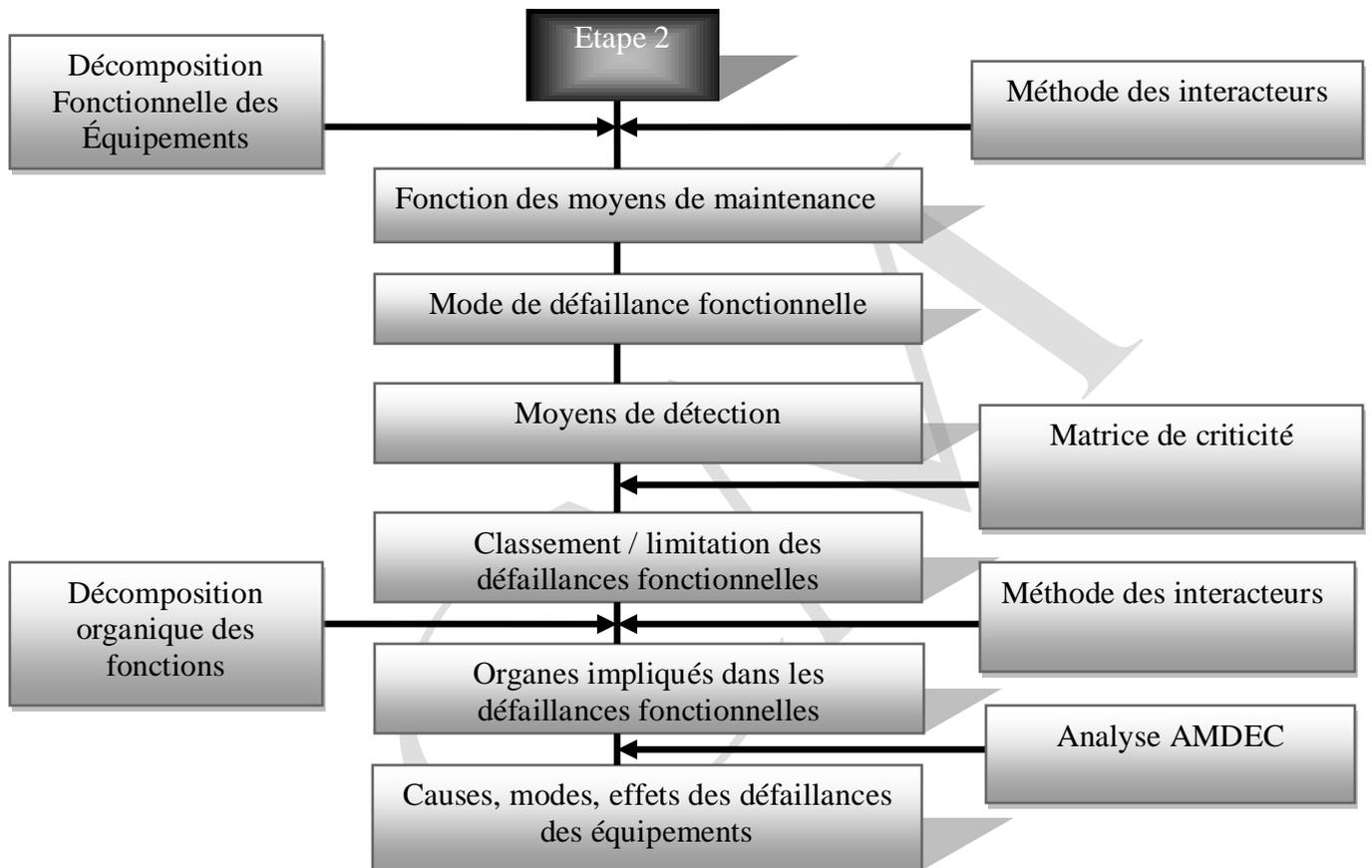
La mise en place d'un programme de maintenance planifiée se fait en 4 étapes, ces étapes utilisent un bon nombre d'informations et de supports faisant référence à la production, à la qualité et à la maintenance. A travers ces différentes étapes, les groupes impliqués doivent en permanence déterminer les objectifs qui sont prioritaires et valider les résultats à toutes les phases.

La première étape correspond à l'étude de l'ensemble des différents équipements de production de l'entreprise, elle a pour but de déterminer quels sont les sites à prendre en compte et les équipements à privilégier pour l'étude voir (*Figure III-1*).



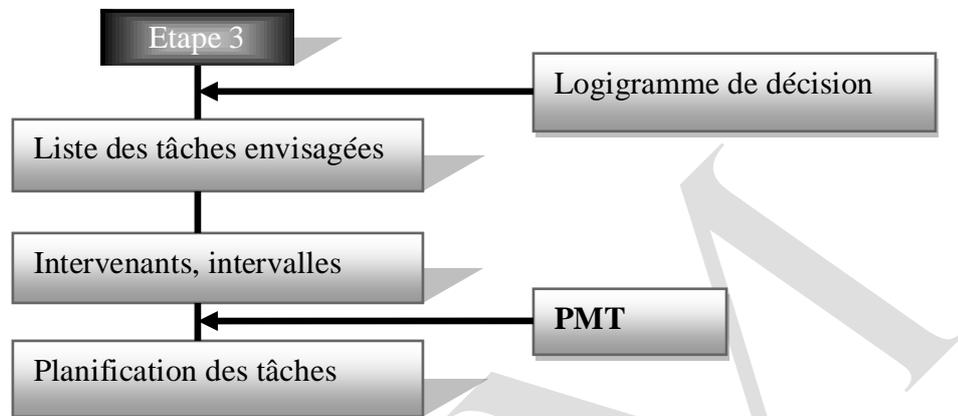
*Figure III-1. Choix des équipements à étudier.*

La seconde étape permet une analyse des défaillances des différents équipements étudiés. Les défaillances fonctionnelles sont étudiées et reliées aux défaillances des différents équipements qui les composent au point de vue mode de défaillance, de ses causes possibles et de ses effets sur les différentes fonctions de l'équipement voir (*Figure III-2*).



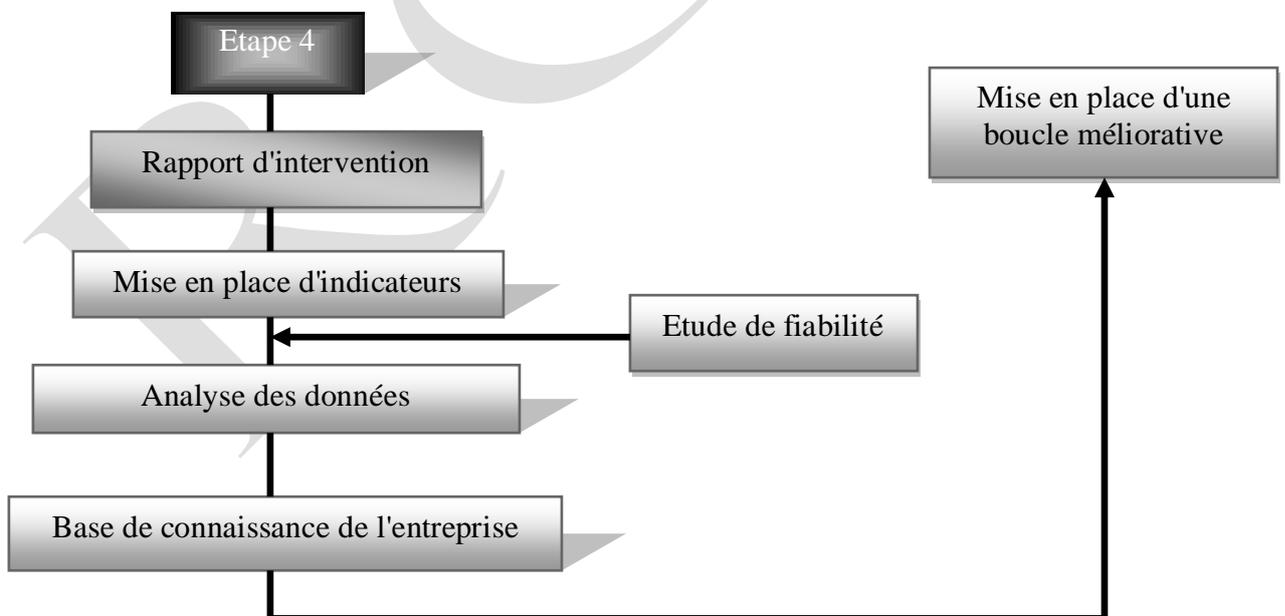
*Figure III-2. Analyse des défaillances des différents équipements étudiés.*

La troisième étape permet de définir le type d'action qu'il faut mettre en place pour améliorer la sûreté de fonctionnement des équipements, ceci conduit à l'élaboration d'un planning et à la personnalisation des différentes tâches de maintenance voir (*Figure III-3*).



*Figure III-3. L'optimisation de maintenance par la RCM.*

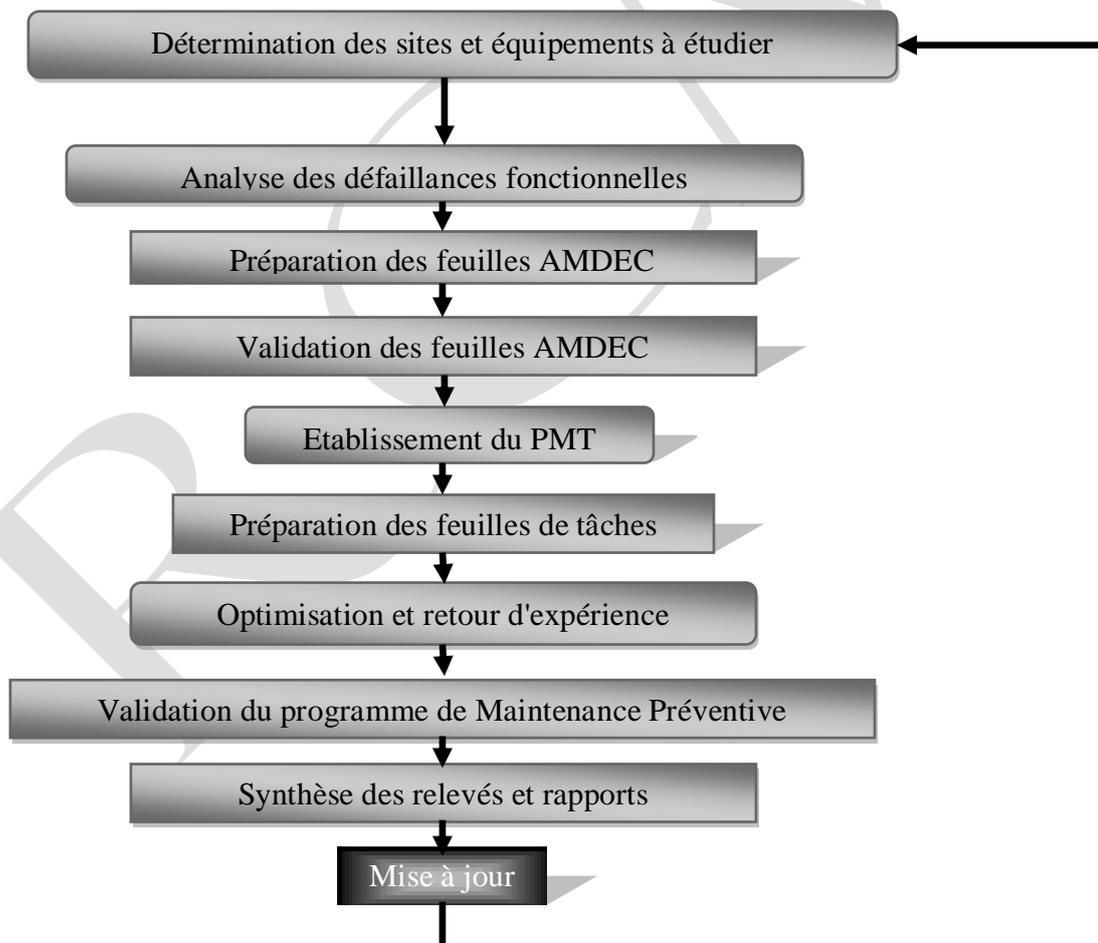
L'étape 4 consiste en l'optimisation du plan de maintenance, retour d'expérience. La **RCM** consiste à déterminer les sites et équipements à étudier puis analyser les défaillances fonctionnelles. Ensuite, elle s'intéresse à réaliser l'étude **AMDEC** puis établir un plan de maintenance optimal voir (*Figure III-4*).



*Figure III-4. : Étape interactive de la RCM.*

### III-5-4- PRINCIPES DE BASE :

- ✚ Si les dispositifs de structure, la fonction et l'environnement d'application des équipements sont les mêmes ou semblables, puis leurs modes de défaillance et mesures sont habituellement étroits ou semblables.
- ✚ Quand les analystes conduisent l'analyse de **RCM** sur les équipements spécifiques, ils se réfèrent souvent aux fichiers historiques de l'analyse de **RCM** sur les articles semblables, et réalisent les résultats satisfaisants par l'adaptation des cas semblables.
- ✚ Il y a souvent des structures semblables dans la même catégorie d'équipement, et quelques pièces communes et mécanismes dans l'équipement différent de catégories. Par l'adaptation des cas d'analyse de **RCM** de ces articles, l'analyse répétée est réduite et l'efficacité d'analyse de **RCM** peut être améliorée voir (*Figure III-5*).



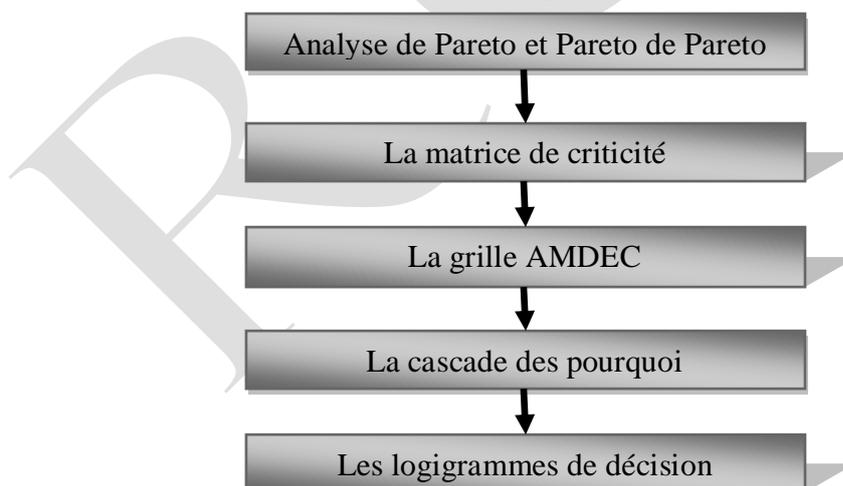
*Figure III-5. Les 4 étapes principales de la démarche RCM.*

### III-5-5- LA METHODE D'OPTIMISATION DE LA MAINTENANCE :

#### III-5-5-1- LA DEMARCHE PROPOSEE :

- ✓ La démarche consiste à utiliser dans une première étape l'analyse de Pareto puis le Pareto de Pareto pour localiser les sites et équipements à étudier comme première étape de la démarche. Dans une deuxième étape, on utilise après la grille AMDEC et la ronde des pourquoi qui permet de remonter à la cause d'origine (root cause). Dans ce cas, on va profiter de retour d'expérience pour faire l'étude.
- ✓ Inversement les résultats trouvés doivent être archivés pour servir de retour d'expérience pour les prochaines études.
- ✓ Le choix est trop large sur quelle machine et sur quelle défaillance il faut agir. Les agents de maintenance ne peuvent en aucun cas traiter tous les problèmes. Ils doivent connaître et interpréter quelles sont les priorités de production. L'analyse de Pareto et Pareto de Pareto répond dans la démarche proposée à cette question.
- ✓ La démarche d'optimisation du plan d'action maintenance permet de focaliser les efforts sur la minorité des causes de défaillances qui est responsable sur la majorité des effets nuisibles à la maintenance, à la production et à la qualité. Par ailleurs, cette méthode permet de proposer un plan d'action de maintenance optimale tout en remontant jusqu'aux causes initiales. De ce fait, elles sont complémentaires.

La démarche proposée (*Figure III-6*) est constituée d'outils suivants :



*Figure III-6. Démarche proposée*

L'analyse a commencé par la définition précise des fonctions de la machine et l'identification de tous les modes de défaillance qui s'expriment par la manière dont un équipement vient à ne plus remplir sa fonction. Cette démarche doit rassembler le maximum d'acteurs qui appartiennent au corps des métiers concernés.

Le responsable maintenance et le responsable production doivent piloter le travail. Ils sont tenus d'identifier les objectifs et les moyens à mettre en œuvre. Le groupe management, pilote et système doivent être constitués au début de l'analyse. Beaucoup de stratégies optimales de maintenance ont été développés et mis en application pour améliorer la fiabilité de système, empêcher des échecs de système et réduire des coûts d'entretien.

Beaucoup de chercheurs supposent habituellement que la surveillance n'est pas continue et puis n'essaye pas de trouver les intervalles optimaux d'inspection pour diminuer le coût de surveillance. D'autre part, beaucoup de modèles de maintenance préventive conditionnelle supposent que l'entretien (correctif ou préventif) est toujours parfait et il peut reconstituer le système aussi bon que nouveau après une maintenance préventive. Ce n'est pas pratique en réalité. Le problème de la minimisation totale de coût d'investissement, sujet aux contraintes de fiabilité, est bien connu comme problème d'optimisation de redondance (dispositif de protection en cas de renversement). C'est un problème combinatoire d'optimisation où le but de conception est réalisé par des choix discrets faits à partir d'un ensemble de composants disponibles sur le marché. Le dispositif de protection, en cas de renversement classique, est prolongé à la trouvaille, sous des contraintes de fiabilité, à la configuration minimale et aux coûts d'entretien d'un système séries-parallèle pour lequel le nombre d'équipes d'entretien est moins que le nombre de composants réparables. En fait, la méthode qu'on propose permet d'améliorer la fiabilité du système étudié sans redondance des équipements.

### **III-5-5-1-1- ANALYSE DE PARETO**

L'analyse de Pareto consiste à déterminer la minorité de causes responsables de la majorité des effets. On peut alors faire un plan d'action sélectif qui s'attaque aux éléments essentiels. On optimise ainsi l'action en ne s'intéressant pas aux nombreux éléments qui ne sont responsables que d'une très petite minorité d'effets à éliminer, On peut, grâce à elle, déterminer, par exemple :

- ✚ La minorité des équipements responsables de la majorité des coûts de maintenance.
- ✚ La minorité des défaillances responsables de la majorité des arrêts de production.
- ✚ La minorité des rechanges responsables de la majorité des coûts de possession en stocks.

La démarche de la méthode de Pareto se décline en **09** étapes principales :

- 1- Définition des éléments à classer : équipements, rechanges, défaillances...
- 2- Définition du critère de classement : coût, temps, nombre d'heures d'arrêt...
- 3- Collecte des valeurs du critère pour les éléments à classer.
- 4- Classement des éléments par ordre décroissant de leur valeur respective du critère.
- 5- Affectation d'un rang à chacun des éléments ainsi classés.
- 6- Cumul des éléments à classer d'une part et de leurs valeurs du critère, d'autre part.
- 7- Calcul du pourcentage des valeurs cumulées par rapports au total.
- 8- Pour chacun de ces pourcentages, déterminer le pourcentage des éléments qui en sont responsables.

9- Tracé du courbe pourcentage des valeurs cumulées du critère en fonction du pourcentage des éléments cumulés qui en sont responsables.

La détermination des seuils des classes **A**, **B** et **C** se fait comme suit :

La classe **A** est celle de la minorité d'éléments (en général **20%**) responsable de la majorité des effets (en général **80%**).

La classe **B** est intermédiaire. Elle est composée généralement des **30%** d'éléments responsable de **15%** d'effets.

La classe **C** est celle de la majorité d'éléments (en général **50%**) responsable de la minorité des effets (en général **05%**).

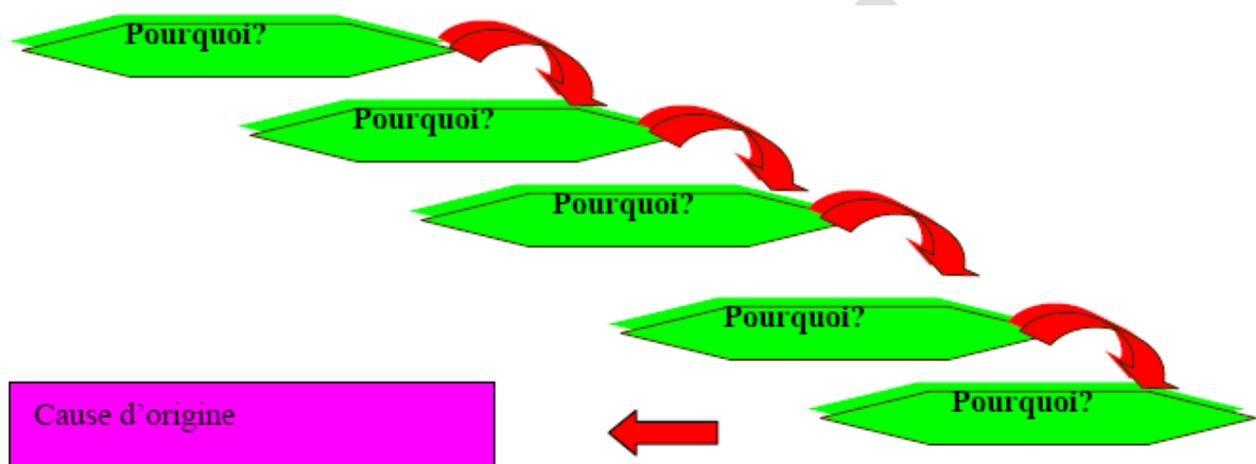
La méthode de Pareto est appelée aussi pour les raisons précitées : méthode des **20/80** ou encore méthode **ABC**. Elle peut être utilisée en cascade pour déterminer d'abord les processus critiques ensuite les activités ou équipements critiques des processus critiques et enfin les défaillances critiques de ces activités ou équipements critiques. On parle alors de Pareto de Pareto.

Il est à noter cependant, que cette méthode nécessite pour son application de disposer de données chiffrées du critère de classement adopté afin de pouvoir classer les éléments à étudier. Dans certaines entreprises, ces données n'existent pas ou elles sont insuffisantes à telle enseigne qu'elles ne sont pas exploitables. Dans ce cas, nous proposons l'utilisation d'une autre méthode : la matrice multicritères qui, elle, exploite la mémoire et l'évaluation des exploitants et des mainteneurs pour ce qui concerne les éléments à classer.

### III-5-5-1-2- CASCADE DES POURQUOI

Plusieurs causes peuvent être responsables d'une défaillance. Il convient d'identifier celle qui est la première conduisant à l'anomalie, la cause radicale (**root cause**). En effet, une cause peut n'être qu'une conséquence d'une autre. Il ne faut donc pas s'arrêter à la cause intermédiaire et l'éradiquer car on risque ainsi de n'éliminer qu'un effet et que la cause première continue à se manifester.

Pour cela, une bonne méthode consiste à poser la question pourquoi successivement jusqu'à se rendre compte qu'on ne peut plus trouver de cause antérieure (*Figure III-7*).



*Figure III-7. Cascade des pourquoi.*

### III-5-5-1-3- L'AMDEC :

L'**AMDEC** est une technique développée par l'armée américaine en **1949**. Elle a d'abord été utilisée pour évaluer la fiabilité des produits, puis les processus de production, et sert maintenant à analyser le risque et la criticité de processus divers. C'est un outil courant des programmes de gestion de la qualité. Elle est utilisée systématiquement dans les industries à risque et est un outil obligatoire de l'accréditation à certaines normes, par exemple, celles de l'industrie automobile.

L'**AMDEC** permet d'identifier et de prioriser les défaillances afin de déterminer les mesures appropriées pour en diminuer la criticité. Elle vise l'amélioration de la performance et la prévention des risques et peut être utilisée tant à l'étape de la conception que de l'évaluation de produits ou de processus.

Elle nécessite de :

**1- Choisir un produit ou un processus à améliorer :**

Cela requiert normalement une analyse préliminaire visant à identifier soit un produit ou un processus reconnu comme problématique et que l'on veut améliorer, soit un élément crucial du système, notamment aux yeux du client, dont il faut garantir la fiabilité. On recommande aussi de décomposer le problème et d'appliquer d'abord l'**AMDEC** aux éléments des plus bas niveaux puis, successivement, à des niveaux supérieurs.

**2- Etablir ses critères de performance :**

Par exemple, en effectuant un déploiement de la fonction qualité pour déterminer les besoins du client ou en établissant les facteurs critiques de succès de l'organisation et ses indicateurs de rendement.

**3- Constituer un groupe de travail :**

La méthode nécessite la collaboration de personnes connaissant bien à la fois le système et son environnement. Elles seront donc généralement de niveaux divers, des dirigeants aux utilisateurs, et de différents horizons: spécialistes de la technologie, de l'exécution, de la mise en marché, de la qualité... Il est en conséquence souhaitable que le travail de ce groupe hétérogène soit coordonné par un animateur connaissant bien la technique. L'**AMDEC** peut nécessiter une collecte étendue, complexe et coûteuse de données sur le phénomène. Le groupe doit donc s'entendre au départ sur le niveau et les limites de l'analyse, les moyens à utiliser et les responsabilités en découlant.

**4- Faire l'inventaire des défaillances :**

Observées ou possibles à partir soit d'études de satisfaction des clients, de données sur les erreurs, de comparaison avec des produits ou processus semblables ou de réflexion de groupe, comme celle que permet la technique du groupe nominal.

**5- Identifier leurs causes :**

L'identification des causes peut être faite après l'établissement de la criticité. On recommande cependant de la faire plus tôt, l'identification aidant généralement à la réflexion sur les effets et pouvant permettre de mieux préciser la fréquence et la gravité.

**6- Identifier leurs effets :**

On suggère d'identifier les effets par « zone de proximité » c'est-à dire de vérifier d'abord les effets sur les clients internes (les processus adjacents) directs puis indirects et d'étendre la recherche vers les clients externes, directs, indirects et potentiels. On décrit brièvement chacun des effets, par exemple : « retards importants », qu'on catégorisera pour les incorporer dans un tableau comme suivant :

Défaillances	Causes	Effets sur			
		A	B	C	D
1.					
2.					
3.					
X					

*Tableau III-1. Cause à effet.*

**7- Etablir les critères d'évaluation de la criticité :**

Ceux-ci sont définis en fonction des indicateurs de performance préétablis, mais ils incluent généralement la gravité de la défaillance pour le ou les principaux types de clients et la fréquence (ou la probabilité) de cette défaillance.

Ils peuvent reposer sur des données détaillées de production ou sur le jugement des membres du groupe. Ils sont généralement cotés sur une échelle de **1** à **5**, allant d'un niveau d'impact ou de fréquence faible (**1**) à majeur (**5**).

**8- Etablir la criticité :**

Celle-ci est établie en multipliant les cotes établies pour chaque facteur de criticité. Ainsi, si la fréquence est moyenne (**3**) et la gravité forte (**5**), la criticité sera de **15**. Les cotes viennent compléter le tableau, qui a alors la forme suivante.

DEFAILLANCE	CAUSES	EFFETS SUR				GRAVITE (G)	FREQUENCE (F)	CRITICITE G X F
		A	B	C	D			
1.								
2.								
3.								
X.								

*Tableau III-2. AMDEC.*

### 9- Identifier les mesures à implanter selon le niveau de criticité :

Cette typologie permet d'identifier les composants les plus critiques et de proposer alors les actions et les procédures adaptées pour remédier à la situation. Généralement l'intervention portera sur l'ensemble des défaillances, mais l'ampleur des mesures prises décroîtra selon le niveau de criticité du problème. Un plan de validation, déterminant comment on évaluera l'impact des mesures, accompagne généralement le plan d'intervention.

#### ➤ Les grilles de cotation :

NIVEAU DE FREQUENCE : F	DEFINITION DES NIVEAUX
Fréquence très faible	Défaillance rare : Moins d'une défaillance par an
Fréquence faible	Défaillance possible : Moins d'une défaillance par trimestre
Fréquence moyenne	Défaillance fréquente : Moins d'une défaillance par semaine
Fréquence forte	Défaillance très fréquente: plusieurs défaillances par semaine

*Tableau III-3. Grille de cotation de la probabilité d'occurrence.*

Niveau de gravité : G	Définition des niveaux
Gravité mineure	Défaillance mineure : -arrêt de production inférieur à 2 mn, -aucune dégradation notable du matériel
Gravité significative	Défaillance significative : -arrêt de production de 2 à 20 mn, -remise d'état de courte durée ou une petite réparation sur place nécessaire.
Gravité moyenne	Défaillance moyenne : -arrêt de production de 20 mn à 1 heure, -changement du matériel défectueux nécessaire.
Gravité majeure	Défaillance majeure : -arrêt de production de 1 à 2 heures, -intervention importante sur sous ensemble, -production de pièces non conformes non détectées.
Gravité catastrophique	Défaillance catastrophique : -arrêt de production supérieur à 2 heures, -intervention nécessitent des moyens coûteux.

*Tableau III-4. Grille de cotation de la gravité.*

Niveau de la probabilité de non détection : D	Définition des niveaux
Détection évidente	Défaillance précocement détectable
Détection possible	Défaillance détectable
Détection improbable	Défaillance difficilement détectable
Détection impossible	Défaillance indétectable

*Tableau III-5. Grille de cotation de la probabilité de non détection.*

#### **III-5-5-1-4- BRAINSTORMING :**

##### **Présentation :**

Le brainstorming ou remue-méninges est une technique de créativité en groupe permettant de produire le plus d'idées possibles, dans un minimum de temps sur un thème donné.

Cette technique est utilisée dans la plupart des étapes de la résolution de problèmes, notamment pour :

- ✚ recenser les problèmes à étudier lors du lancement d'un projet ou pendant son déroulement.
- ✚ déterminer les causes possibles du problème étudié.
- ✚ trouver toutes les solutions ou éléments de solution possibles.

##### **Méthodologie :**

Le brainstorming doit être organisé par un animateur qui doit :

- ✚ annoncer le but recherché du brainstorming.
- ✚ s'assurer de la représentativité des personnes conviées.
- ✚ disposer d'un support pour noter les suggestions qui resteront visibles au groupe de réflexion.
- ✚ animer le groupe en favorisant la production d'idées.

Le déroulement du brainstorming se fait en trois phases :

##### ➤ **Le lancement :**

L'animateur rappelle les règles de fonctionnement puis il présente et formule le problème sous forme d'une question.

➤ **La production d'idées :**

L'animateur demande aux membres du groupe de noter dans un temps limité (autour de cinq minutes), sur une feuille toutes les idées sur le sujet, leur passant par la tête. L'animateur inscrit ensuite les idées qu'expriment tour à tour chaque membre du groupe. Cette phase peut aussi être réalisée sans le support papier, on fait alors des tours de table jusqu'à épuisement des idées.

➤ **L'exploitation des idées produites :**

L'animateur relit avec le groupe, toutes les idées notées afin de reformuler des idées peu claires et d'éliminer les idées hors sujet. On peut ensuite tenter de regrouper les idées similaires et de reformuler les idées finales. Il convient alors dans un dernier temps de hiérarchiser ces idées pour mettre en évidence les priorités recherchées qu'il s'agisse des causes ou des solutions à un problème. On pourra pour ce faire avoir recours au vote, à l'utilisation de l'expansion de fonctions (attribution de notes aux idées) ou encore au diagramme cause/effet.

### **III-5-5-1-5- ESTIMATION :**

#### **Présentation :**

L'estimation consiste à donner la valeur et la durée les plus probables d'une tâche, à partir de données insuffisantes et souvent erronées; ces valeurs sont obligatoirement accompagnées de leur degré de confiance. Elle intègre le facteur temps et se base sur des projets déjà réalisés mais jamais identiques, ni même semblables, tant sont nombreux les paramètres techniques et leurs domaines de variation. L'objectif est d'être à même de fournir rapidement, à partir de la définition technique succincte d'un projet et d'éléments statistiques dont on dispose, le coût prévisionnel d'une prestation, assorti d'une précision quantifiable.

#### **Méthodologie :**

La démarche d'une estimation de coût de l'investissement comporte les étapes suivantes :

**1-** Assurer la collecte permanente de données historiques et statistiques qui constituent la documentation de référence; elle est nécessairement complétée par le savoir-faire spécifique à la société, lequel résulte de l'expérience et du résultat accumulé des affaires passées.

**2-** Analyser l'ensemble des données du projet en sa possession : cette analyse a pour objectif de dégager les particularités et conduire à un plan de l'estimation, lequel suscite les moyens nécessaires à mettre en œuvre. Deux critères sont fondamentaux dans ce processus : l'appréciation des données disponibles et le temps matériel pour réaliser le travail.

3- Décomposer le projet en éléments ensuite triés en fonction de la base de données en différents lots : identique à la référence, similaire à la référence (taille voisine), éléments différents de la référence mais toutefois chiffrables, les inconnus du projet.

4- Porter un jugement critique sur le travail, à savoir le budget de référence, par une formulation correcte des méthodes et des moyens. C'est l'étape la plus difficile et la plus subjective puisqu'elle consiste à juger et apprécier le degré d'approximation et en déduire la marge de sécurité ou les provisions nécessaires.

5- Le projet étant réalisé, récupérer les résultats des coûts et les analyses. Mesurer les écarts avec les estimations successives et en tirer tous les éléments qui vont enrichir la base de données qui se trouvera à jour pour l'estimation suivante.

➤ **L'estimation paramétrique :**

Elle permet d'obtenir rapidement le prix d'un ouvrage à partir d'une base de données d'expériences capitalisées et de critères de dimensionnement pertinents. (Modèle Price, modèle fats).

Les modèles d'estimation paramétrique permettent de calculer le coût d'une réalisation à partir de ses descripteurs et de ses contraintes de planning, soit calculer à la fois le coût et le planning optimum. De plus, les modèles peuvent fournir le coût de l'outillage, son entretien, etc. au préalable, le modèle doit être adapté à la manière particulière dont travaille l'entreprise concernée : c'est l'étalonnage (rechercher les valeurs individuelles des constantes convenant à la situation actuelle à partir de coûts de projets terminés bien connus).

➤ **L'estimation modulaire :**

Elle est faite pour calculer des budgets préliminaires au niveau d'une étude finale et détaillée ou au niveau de la définition d'une enveloppe budgétaire de référence établie sur la base d'un avant-projet sommaire afin d'élaborer un plan de financement du projet ou de contrôler au départ d'un projet du type " **cost plus** " ou remboursable.

### **III-5-5-1-6- ANALYSE DE LA VALEUR AV :**

#### **Présentation :**

La norme **NF X 50-150** définit l'analyse de la valeur comme étant une " méthode de compétitivité, organisée et créative, visant la satisfaction du besoin de l'utilisateur par une démarche spécifique de conception à la fois fonctionnelle, économique et pluridisciplinaire".

- Fonctionnelle parce que l'**AV** formalise le problème en termes de finalités et non en terme de solutions.
- A caractère économique parce que l'**AV** estime les coûts liés aux fonctions ou solutions retenues.
- Pluridisciplinaire parce que l'**AV** associe les intervenants grâce à la constitution d'un groupe de travail appuyé si nécessaire par les services opérationnels et piloté par un animateur. Les choix appartiennent au décideur.

Cette démarche permet de prendre en compte les opportunités du marché, l'évolution de l'environnement et les techniques possibles.

Elle se caractérise par :

- ✚ un examen critique des éléments existants.
- ✚ une progression itérative.
- ✚ l'intégration d'outils et moyens pour l'évaluation.
- ✚ un plan de travail adoptant une démarche systématique, organisée et participative.
- ✚ l'adhésion des participants.

#### ➤ **METHODOLOGIE :**

Le plan de travail est issu de l'expérience des experts en analyse de la valeur. Il comprend **7** phases qui doivent être scrupuleusement respectées conformément à la norme **NF X 50-152**.

La démarche est progressive et prend en compte les résultats issus de la phase amont. Elle est itérative dans la phase active (optimisation des résultats). Chaque phase peut être remise en cause par celles qui la suivent.

Une action av se déroule à raison d'une réunion par semaine ou par quinzaine. Un compte rendu rédigé à chaque séance permet de conserver en mémoire ce qui a été fait et décidé. Il informe le décideur sur l'évolution de l'étude.

Le plan de travail est le suivant :

➤ **Orientation de l'action AV :**

Elle est la phase de concertation entre la main d'œuvre, et le responsable de la mise en œuvre de la méthode **AV** : l'animateur.

Ils passent en revue l'objet de l'étude (besoin à satisfaire) et les causes originelles de son déclenchement. Ils examinent les objectifs (performance, coût,...) et les enjeux économiques (gains financiers, accession à un nouveau marché, ...) fixés par le demandeur.

Ils précisent les limites du système à étudier. Ils constituent le groupe de travail et vérifient l'adéquation entre les ressources allouées (compétences, aptitudes) et la nature de l'étude. Ils estiment le budget nécessaire pour assurer l'action av ainsi que le planning prévisionnel.

À l'issue des travaux, un dossier regroupant les éléments étudiés est soumis à l'approbation du demandeur :

- ✚ définition du sujet.
- ✚ objet et causes de son déclenchement.
- ✚ objectifs et enjeux économiques.
- ✚ limites du système.
- ✚ moyens associés (budget, ressources).
- ✚ planning.

➤ **Recherche de l'information :**

La recherche de l'information est réalisée par le groupe de travail et les services opérationnels. Ils recensent les facteurs économiques, techniques, commerciaux et sociaux qui entrent en jeu dans l'environnement de l'étude.

Les données proviennent de deux sources :

- la première, interne, est issue des études réalisées par l'organisme, de la documentation des données techniques et des dossiers antérieurs.
- la seconde, externe, est accessible auprès des organismes professionnels et des banques de données.

Le groupe de travail évalue la pertinence des données, identifie la source et contrôle la validité actuelle. Puis les informations sont synthétisées et diffusées.

Au cours des phases **3** à **5**, les intervenants sont susceptibles de demander un complément d'informations à des experts n'appartenant pas au groupe de travail pluridisciplinaire.

➤ **Analyse des fonctions et des coûts - validation des besoins et des objectifs :**

Cette phase est reconnue comme étant le moteur de la méthode. Elle a pour objet :

- ✚ de déterminer et d'analyser les fonctions à assurer (analyse fonctionnelle) afin de concevoir le cahier des charges fonctionnel.
- ✚ d'estimer la répartition des coûts et des gains.
- ✚ de valider les besoins et les objectifs.

➤ **Recherche d'idées et de voies de solutions :**

Pour développer des solutions satisfaisant la fonction ou un ensemble de fonctions, la recherche est faite suivant trois axes :

- ✚ le marché : l'écoute et l'observation des futurs utilisateurs / exploitants.
- ✚ les expériences : l'étude des similitudes entre les cas traités et la fonction à développer.
- ✚ les centres de recherche : l'exploration des domaines technologiques et des combinaisons.

Pour élaborer les solutions et pour mener à bien cette phase, le groupe de travail se réunit en séance créativité.

➤ **Etude et évaluation des solutions :**

L'examen critique des suggestions permet de dégager une ou plusieurs propositions. Le groupe de travail confie aux services opérationnels l'étude technico-économique et vérifie la faisabilité en passant en revue les contraintes répertoriées lors de l'action **AV**.

On outre, ils veillent à minimiser le coût de cette étape en limitant la précision au juste nécessaire pour valider la faisabilité et la pondération des solutions.

Grâce à la démarche **AV**, les intervenants construisent une première série de solutions et peuvent sélectionner les propositions les plus pertinentes (**solution = performance / coût**).

Dans un second temps, grâce au critère itératif de la démarche, les intervenants se focalisent sur une ou plusieurs propositions retenues. Des techniques qualitatives et quantitatives et des outils d'aide à la décision sont utilisés pour évaluer les solutions.

L'examen aboutit à une hiérarchisation objective des propositions formalisée au travers d'un outil " l'arbre des voies technologiques " (outil reconnu par la méthode apte), qui amène la solution la plus adaptée en conséquence de celles qui ne sont pas adaptées pour telle ou telle raison.

➤ **Bilan prévisionnel - Présentation des solutions retenues – Décision :**

L'animateur regroupe les propositions retenues et dresse un bilan prévisionnel composé :

- ✚ du dossier contractuel établi en première instance.
- ✚ du cahier des charges fonctionnel besoin.
- ✚ des documents ayant servi à l'évaluation des solutions techniques.
- ✚ du récapitulatif budgétaire de l'action **AV**.

Pour chaque solution retenue, il est présenté :

- ✚ le niveau estimé et la flexibilité accordée pour chaque critère.
- ✚ l'évaluation économique et les règles appliquées (amortissements, fiscalités, ...).
- ✚ les avantages et les inconvénients.
- ✚ les menaces et les opportunités liées à l'environnement externe.
- ✚ les conditions à respecter pour réaliser l'opération.

L'animateur, assisté du groupe de travail, présente au décideur les propositions et remet les documents. Cet acte clôt la mission du groupe de travail.

➤ **Réalisation :**

Généralement confiée à l'animateur ou à un chef de projet, cette phase nécessite un suivi rigoureux et constant des délais et du budget.

**III-5-5-1-7- TEAM BUILDING :**

**Présentation :**

La méthode du **TEAM BUILDING** est un processus par lequel, on rassemble des individus ayant des besoins, des expériences, des expertises différents afin de les transformer en une unité de travail intégrée et efficace. Dans ce processus de transformation, buts et énergies des participants individuels fusionnent et supportent les objectifs de l'équipe.

- La nécessité de cette méthode s'applique particulièrement pour :

- ✚ établir un nouveau programme.
- ✚ améliorer des relations projet / clients.
- ✚ intégrer de nouvelles personnes dans un programme.
- ✚ réduire les problèmes Interfonctionnels.
- ✚ faciliter le passage d'une phase a une autre.

## **Méthodologie :**

La première étape consiste à structurer l'organisation :

- + définition d'une carte du projet : il faut décrire clairement la mission et le domaine du projet, les grandes responsabilités, les objectifs quantifiés, l'organisation ...
- + établir un diagramme d'organisation du projet : réalisation de l'obs, du Wbs, définition des relations majeures de Reporting et d'autorité ...
- + élaboration des responsabilités matricielles : liste des tâches et définition des responsabilités au sein de l'équipe mais aussi avec les services d'origines et les acteurs externes.
- + description des activités des individus : les relations de Reporting, les responsabilités, devoirs et qualifications doivent y figurer.

Il convient ensuite de recruter le personnel du team :

- + s'assurer que les tâches sont clairement perçues et assignées.
- + faire en sorte que les nouveaux membres de l'équipe se sentent bien professionnellement.
- + s'assurer que l'organisation du projet est claire.
- + localiser les membres de l'équipe en un seul lieu.
- + fournir un environnement correct du projet.
- + manager le personnel.

Le manager doit gérer le processus continu du team building : objectifs du projet, effets de leadership, planification efficace et efficiente, sessions de dynamique de groupe et revues d'avancement de projet ...

### **III-5-5-1-8- ANALYSE FONCTIONNELLE AF :**

#### **Présentation :**

D'après la norme Afnor **NF X 50-151**, l'analyse fonctionnelle est une démarche qui consiste à rechercher, ordonner, caractériser, hiérarchiser et / ou valoriser les fonctions du produit attendu par l'utilisateur.

L'analyse fonctionnelle s'applique à la création ou à l'amélioration d'un produit, elle est dans ce cas l'étape fondamentale de l'analyse de la valeur.

Appliquée au seul besoin, elle est la base de l'établissement du cahier des charges fonctionnel besoin.

## Méthodologie

L'analyse fonctionnelle s'effectue en plusieurs étapes :

### ➤ Déterminer le profil de vie du système :

Il convient dans un premier temps de rechercher l'information nécessaire pour identifier les différentes phases du cycle de vie du produit depuis son stockage jusqu'à son retrait de service, en passant par son utilisation "pure". Pour chaque situation, il est recommandé de lister les éléments, personnes, matériels, matières qui constituent l'environnement du produit. Les activités qui suivent vont être réalisées pour chacune des phases du cycle de vie du produit au sein du groupe de travail qui a été mis en place.

### ➤ Recenser les fonctions :

La recherche des fonctions s'effectue en étudiant les relations du futur produit ou système avec son environnement. Elle s'effectue selon une méthodologie axée sur le recensement exhaustif des fonctions : ne pas en oublier, ne pas inventer de faux services.

Chaque fonction devra être exprimée exclusivement en termes de finalité et être formulée par un verbe à l'infinitif suivi d'un ou plusieurs compléments.

### Les fonctions de service :

Elles se déclinent en deux catégories.

#### **1- Les fonctions principales :**

Pour chaque phase du cycle de vie, il s'agit d'identifier les relations créées par l'objet entre deux ou plusieurs éléments de son milieu d'utilisation. Il faut ensuite exprimer le but de chaque relation créée, chaque but détermine ainsi une fonction principale.

#### **2- Les fonctions contraintes :**

Pour chaque position d'utilisation, il s'agit de définir les contraintes imposées au produit par son milieu extérieur d'utilisation. Cela revient à identifier les relations entre l'objet et un élément du milieu extérieur.

### Les fonctions techniques :

Chronologiquement, elles ne sont identifiées qu'une fois les fonctions de service clairement exprimées.

Elles sont issues de solutions techniques pressenties. L'architecture du système est composée d'éléments existants plus ou moins standardisés : le projet consiste alors à les organiser de façon nouvelle ou créer des relations nouvelles entre ces éléments.

Ces fonctions de service vont alors être relayées par des fonctions techniques reliant les diverses solutions techniques pressenties. Les fonctions techniques reflètent l'organisation entre les différentes voies de solutions.

➤ **Ordonner les fonctions :**

Les fonctions identifiées précédemment ont été notées sans respecter un ordre particulier. Il est important d'établir une décomposition logique entre ces diverses fonctions.

Le groupe de travail créera ainsi le diagramme fonctionnel qui ordonne les fonctions identifiées, vérifie la logique fonctionnelle, contrôle l'exhaustivité du recensement des fonctions et sert de support à la recherche de nouvelles fonctions.

Les débats suscités au sein du groupe de travail pendant la construction du diagramme fonctionnel, et surtout pour obtenir un consensus, permettent de clarifier la situation et augmentent l'efficacité du groupe. La méthode des groupes nominaux pourra être utilisée pour animer la séance.

➤ **Caractériser et quantifier les fonctions :**

Une fois les fonctions identifiées, il faut définir les critères qui nous permettront d'effectuer le choix d'une solution technique : la caractérisation des fonctions.

Cela consiste à énoncer pour chaque fonction de service :

**1- Les critères d'appréciation :**

Caractère retenu pour apprécier la manière dont une fonction est remplie ou une contrainte respectée.

**2- Les niveaux de chaque critère :**

Grandeur repérée dans l'échelle adoptée pour un critère d'appréciation d'une fonction. Cette grandeur peut être celle recherchée en tant qu'objectif ou celle atteinte par une solution proposée. Le niveau quantifie le critère et représente ainsi la performance attendue du service à rendre.

### **3- La flexibilité de chaque niveau :**

Ensemble d'indications exprimées par le demandeur sur les possibilités de moduler le niveau recherché pour un critère d'appréciation.

### **4- Le taux d'échange associé :**

Rapport déclaré acceptable par le demandeur entre la variation du prix (ou du coût) et la variation correspondante du niveau d'un critère d'appréciation ou entre les variations de niveau de deux critères d'appréciation.

Il s'agit de se préparer à négocier une variation de performance par rapport au besoin initial. Pour chaque couple critère/niveaux de satisfaction, on fixera alors un taux d'échange.

### **5- Hiérarchiser les fonctions :**

Il faut pouvoir indiquer aux futurs prestataires, les services essentiels sur lesquels il faudra concentrer leurs savoir-faire ; pour cela, il est possible de hiérarchiser les fonctions soit en associant directement un coefficient à chaque fonction, soit en comparant chaque fonction à toutes les autres en jugeant si elle est "plus importante" ou "moins importante".

#### **III-5-5-1-9- COUTS :**

L'insuffisance de la fiabilité des locomotives a des conséquences souvent fâcheuses sur les coûts, le temps perdu et souvent même sur la sécurité du personnel, Aussi, il est à noter qu'un effet psychologique néfaste s'installe chez les utilisateurs à cause du stress provoqué par l'occurrence des défaillances répétées. De ce fait, la fiabilité est devenue une de leurs préoccupations majeures au cours de l'exploitation des locomotives ayant un certain âge. Pour les exploitants, cette fiabilité est toujours associée au coût de non-maintenance et voire au coût de réparation. Ce coût comprend le prix des pièces de rechange et celui de la main d'œuvre, Dans le concept de la maintenance préventive, le souci d'un gestionnaire est évidemment de réduire les dépenses de ce poste à un minimum possible par l'action directe sur les différents coûts de réparation des locomotives générées lors des interventions palliatives et correctives.

L'objectif de cette étape est de montrer l'approche de la mise en place d'une politique maintenance des locomotives en se basant sur l'approche de la fiabilité mesurée en exploitation précédemment. Cette façon de faire est construite sur des principes justifiés en statistiques appliquées et faisant appel aux coûts de maintenance qui restent une évaluation objective de l'efficacité de cette fonction.

Le responsable de maintenance doit alors se donner pour mission de développer une politique de maintenance permettant à l'exploitant de la locomotive d'économiser sur la section diesel en changeant des pièces ou des organes avant la panne. Cette problématique est traduite par la recherche d'éléments de réponses aux questions primordiales de la maintenance :

- Que changer?
- Quand faudrait-il changer?
- Et surtout, quel est le montant de l'économie réalisée?

En conséquence, cette situation fait exposer les questions suivantes et auxquelles le maintenicien doit répondre afin d'éclairer la politique de maintenance à adopter :

- Quelles sont les données de retour d'expérience, justes et pertinentes, qu'il convient de choisir et de retenir pour résoudre un problème de maintenance ?
- Comment, à partir de ces données de retour d'expérience, justes et pertinentes, conclure sur le comportement d'un matériel et de ses composants ?
- Quelles méthodes, fondées sur le retour d'expérience et sur son analyse quantitative, permettent d'aider à prendre la meilleure décision ?

Une des méthodes de pratique de la maintenance, repose sur des bases statistiques, Or qui dit statistique, dit automatiquement traitement de nombreuses données numériques. Cette politique de maintenance, pour être applicable, sous-entend donc une gestion technique rigoureuse et complète des équipements et on devrait se donner les moyens d'une telle politique.

La courbe de fiabilité est un élément essentiel de cette politique de maintenance préventive. L'autre élément essentiel est le rapport entre le coût de réparation préventive (planifié) et le coût de réparation corrective (après avarie). Il est bien évident que la politique de maintenance préventive sera d'autant plus payante que la dispersion de la durée de vie sera faible et que le coût de la panne sera plus élevé devant celui du changement préventif.

### **Principes généraux**

Admettons qu'on décide d'avoir une politique de maintenance préventive consistant à changer certains organes systématiquement chaque  $x$  heures. La période  $x$  devra correspondre au moment où le coût horaire d'une telle politique sera minimum. Pour un ensemble mécanique donné, le coût d'une telle politique se décompose de la façon suivante :

### Les coûts de changements systématiques préventifs :

Ils comprennent les pièces, la main d'œuvre, l'immobilisation (manque à gagner) de l'équipement. Désignons ces coûts par **C<sub>p</sub>** :

$$C_p = \frac{t}{T} C_{mp} + C_d \lambda t$$

Avec : t : la période de référence

T : la période d'intervention préventive systématique ( Ips )

$\lambda$  : le taux de défaillances résiduelles

C<sub>mp</sub> : le coût d'une Ips

C<sub>d</sub> : le coût d'une défaillance résiduelle

### ➤ Les coûts de changements correctifs :

Ce sont les coûts éventuels pour les pièces qui auront une défaillance entre deux changements préventifs.

Les changements correctifs obéissent à la loi de fiabilité. Ces coûts comprennent les coûts de réparation des pièces ainsi que les coûts liés à l'aléa traduit par l'arrêt de la machine. Désignons ces coûts par **C<sub>c</sub>** :

$$C_c = C_{mc} + C_i$$

avec : C<sub>mc</sub> : le coût d'une maintenance corrective

C<sub>i</sub> : le coût d'indisponibilité (manque à gagner)

Au bout d'un temps t, le coût horaire d'une politique de maintenance préventive sera :

$$Y = \frac{C_p + C_c}{t}$$

Dans la majorité des cas rencontrés dans la pratique, cette fonction Y n'a pas d'expression analytique, elle ne peut être résolue que numériquement. Prenons le cas le plus simple. Etudions tout d'abord l'historique de l'équipement à partir duquel nous calculons la fiabilité de l'organe à changer préventivement. Soit **R(t)** cette loi (prenons la loi la plus indiquée en l'occurrence celle de Weibull). A partir des paramètres de cette loi, on peut déterminer la fonction de renouvellement du matériel **H(t)** qui s'écrit :

$$H(t) = \begin{pmatrix} t \\ \eta \end{pmatrix}^\beta + \begin{pmatrix} \Gamma(1 + \beta) \\ 0,5 \\ \Gamma(1 + 2\beta) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} t \\ \eta \end{pmatrix}^{2\beta}$$

Le coût total sera alors donné par :

$$C(t) = C_p R(t) + C_c H(t)$$

Le coût horaire d'une telle opération sera :  $Y(t) = C(t)/t$ .

Alors la période  $T$  de changement préventif sera telle que la fonction  $Y(t)$  sera minimum.

On calculera donc successivement pour  $\Delta t$  suffisamment petit les fonctions  $H(t)$ ,  $C(t)$  et  $Y(t)$  à partir de  $R(t)$ ,  $C_p$  et  $C_c$ .

#### Calcul de la période optimum de changement préventif :

Les indicateurs des séries statistiques doivent être d'une part des résumés «maniables», et d'autre part, les plus exhaustifs possibles relativement à l'information contenue dans les données. Une caractéristique statistique doit être une valeur type :

1. définie de façon objective et donc indépendante de l'observateur
2. dépendante de toutes les observations
3. de signification concrète pour être comprise par des non spécialistes
4. simple à calculer et peu sensible aux fluctuations d'échantillonnage
5. se prêtant aisément aux opérateurs mathématiques classiques

En réalité, on ne dispose pas de caractéristiques répondant simultanément à ces conditions. Le choix d'un indicateur sera l'objet d'un compromis guidé par la spécificité de l'étude en cours.

#### III-5-5-1-10- LA FIABILITE :

Caractéristique d'un dispositif exprimée par la probabilité que ce dispositif accomplisse une fonction requise dans des conditions d'utilisation données et pour une période de temps déterminée.

La notion de temps peut prendre la forme :

- De nombre de cycles effectués → machine automatique
- **De distance parcourue → matériel roulant**
- De tonnage produit → équipement de production

Son estimation s'établit généralement :

- à partir d'un intervalle de temps avec extrapolation sur la période de fonctionnement ou durée de vie (pour une entité).
- à partir d'un échantillon avec extrapolation à l'ensemble de la population (pour un composant).

### Système réparable :

Caractérisé par la possibilité de remplacer un ou plusieurs constituants défectueux, sans échange de ceux non défectueux (équipements industriels).

### Système non réparable :

Composant ou ensemble de pièces dont la défaillance entraîne le remplacement de toutes, donc de l'ensemble.

### Définition des paramètres nécessaires à la mesure de la fiabilité :

#### ➤ Probabilité :

C'est le rapport (Nbr de cas favorable/Nbr de cas possible). C'est un nombre compris entre 0 et 1.

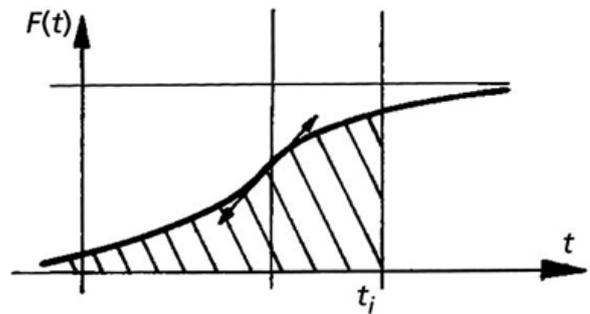
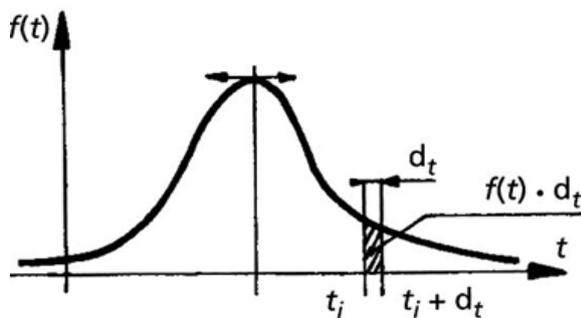
#### ➤ Densité de probabilité $f(t)$ :

Représente la probabilité de défaillance juste au temps  $t$ .

#### ➤ Fonction de répartition $F(t)$ ou probabilité de défaillance :

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt$$

C'est la probabilité de subir une défaillance à l'instant  $T$  compris entre  $[0, t]$ .



#### ➤ Fonction de fiabilité $r(t)$ ou probabilité de non défaillance :

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt$$

C'est la probabilité de non défaillance à l'instant  $T$  compris entre  $[0, t]$  (probabilité de défaillance au-delà du temps  $t$ )  $F(t)+R(t)=1$ .

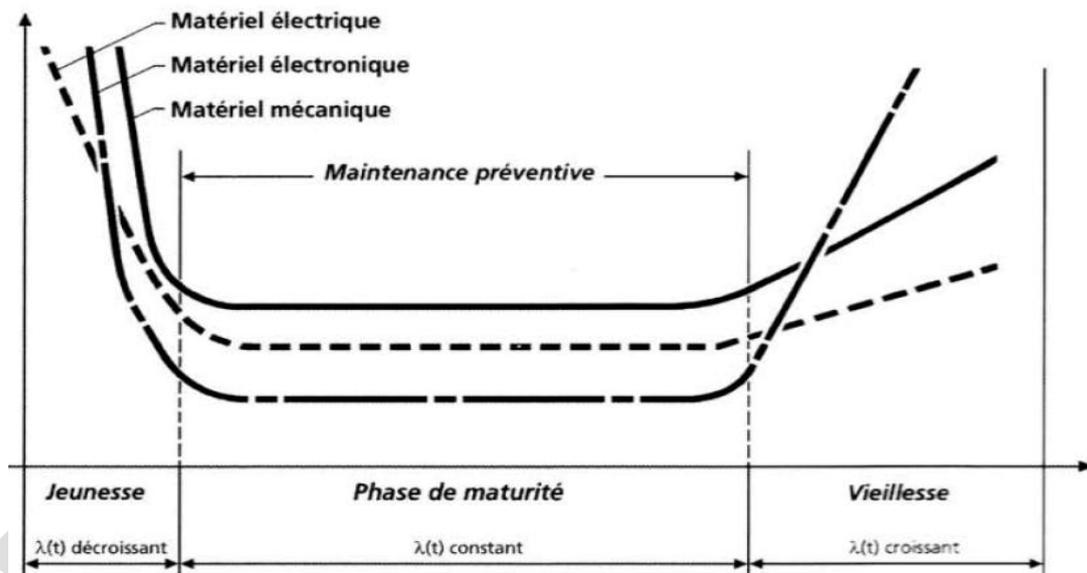
➤ **Fonction taux de défaillance  $\lambda(t)$  : (lambda)**

C'est la probabilité de subir une défaillance à l'instant  $t$  pour un dispositif ayant vécu jusqu'à l'instant  $t$ .

Exprimé en défaillance par unité d'usage (généralement pannes / heure)  $\lambda(t) = f(t)/R(t)$

$$\lambda(t) = \frac{\text{nombre de défectueux sur un intervalle de temps}}{\text{nombre de survivants au début de la période} \times \text{intervalle de temps}}$$

La variation de  $\lambda(t)$  représente l'évolution du cycle de vie de l'équipement (courbe en baignoire)



- ✚ **Période 1 / Jeunesse :** soumis à des défaillances précoces – maintenance préconisée : correctif – correspond au rodage (mécanique) ou déverminage (électrique)
- ✚ **Période 2 : Maturité :**  $\lambda(t)$  constant – soumis à des défaillances aléatoires – maintenance préconisée : correctif + visites préventives
- ✚ **Période 3 : Obsolescence :** (vieillesse) – soumis à des défaillances d'usure – maintenance préconisée : préventif systématique

➤ M.T.B.F. « Mean Time between Failures »:

La **MTBF** ou moyenne des temps de bon fonctionnement est la valeur moyenne entre défaillances consécutives, pour une période donnée de la vie d'un dispositif.

$$MTBF = \sum_0^n \frac{TBF_i}{n}$$

**F(t), R(t), λ(t)** et la **MTBF** seront des indicateurs utilisés en fiabilité.

Les procédés de calcul des indicateurs varient suivant le nombre de données que l'on possède, ces données sont généralement soit des temps de bon fonctionnement ou des défaillances.

➤ La loi de Weibull

C'est une loi de fiabilité à 3 paramètres qui permet de prendre en compte les périodes où le taux de défaillance n'est pas constant (jeunesse et vieillesse). Cette loi permet :

- ✚ Une estimation de la **MTBF**
- ✚ Les calculs de **λ(t)** et de **R(t)** et leurs représentations graphiques
- ✚ Grâce au paramètre de forme **β** d'orienter un diagnostic, car β peut être caractéristique de certains modes de défaillance

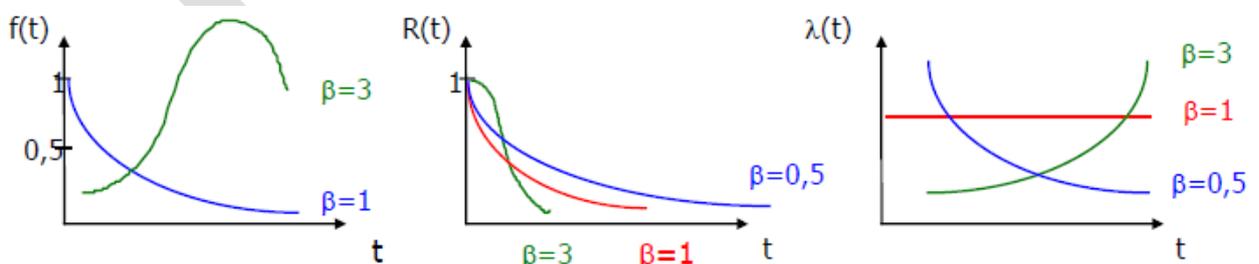
β : Paramètre de forme > 0 sans dimension:

- ✚ Si **β > 1**, le taux de défaillance est croissant, caractéristique de la zone de vieillesse

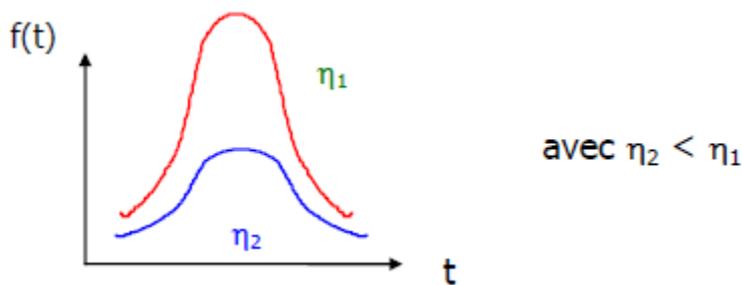
**1,5 < β < 2,5** : fatigue

**3 < β < 4** : usure, corrosion

- ✚ Si **β = 1**, le taux de défaillance est constant, caractéristique de la zone de maturité
- ✚ Si **β < 1**, le taux de défaillance est décroissant, caractéristique de la zone de jeunesse

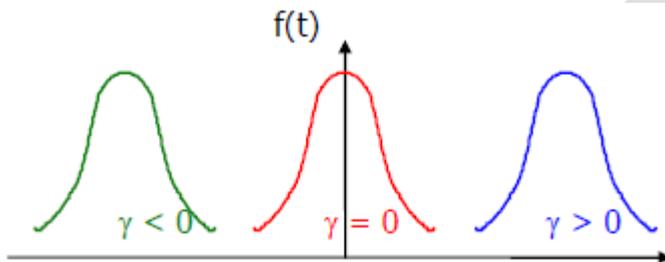


**$\eta$  : Paramètre d'échelle  $> 0$  qui s'exprime en unité de temps :**



**$\gamma$  : Paramètre de position,  $-\infty < \gamma < +\infty$ , qui s'exprime en unité de temps :**

- ✚  $\gamma > 0$  : survie totale sur l'intervalle de temps  $[0, \gamma]$
- ✚  $\gamma = 0$  : les défaillances débutent à l'origine des temps
- ✚  $\gamma < 0$  : les défaillances ont débuté avant l'origine des temps ; ce qui montre que la mise en service de l'équipement étudié a précédé la mise en historique des **TBF**



**Relations fondamentales :**

Densité de probabilité :  $f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta}$  av

Fonction de répartition :  $F(t) = 1 - e^{-\left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta}$

Loi de fiabilité :  $R(t) = 1 - F(t) = e^{-\left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta}$

➤ **Taux de défaillance :**

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1-F(t)} = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta} \cdot \frac{1}{e^{-\left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta}} \Rightarrow \boxed{\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1}}$$

➤ **MTBF et écart type :**

$$E(t) = MTBF = A\eta + \gamma$$

$$\sigma = B\eta$$

#### **IV-6- MISE EN PLACE DE LA RCM :**

##### **IV-6-1- ENTREPRISE :**

Définie par la société nationale du transport ferroviaire « **SNTF** » dérivée de la société mère pendant l'occupation française « **SNCFA** » société nationale du chemin de fer français d'Algérie la société unique en Algérie qui gère le chemin de fer en Algérie.

##### **IV-6-2- DÉCOMPOSITION DE L'ENTREPRISE :**

En terme de différents sites fonctionnels, l'entreprise a une grande structure, mais on a l'obligation de mettre seulement en charge le dépôt principal de maintenance des locomotives, le représentant de la direction matérielle de la direction régionale ferroviaire.

Alors le dépôt se compose de beaucoup de service et sections :

- ✓ Section **VP** Diesel.
- ✓ Section **VM** Électrique.
- ✓ Section établi.
- ✓ Section machine Outil.
- ✓ Section entretien.
- ✓ Section rembobinage.
- ✓ Section bogie.
- ✓ Laboratoire électronique.
- ✓ Laboratoire d'analyse d'huile.
- ✓ Parc principal.
- ✓ Magasin général.
- ✓ Annexe.

##### **IV-6-3- CRITÈRES QUALITATIFS :**

- Sous direction de maintenance.
- Sous direction technique.
- Division hygiène et sécurité.
- Division approvisionnement.
- Division mouvement.
- Division qualité.
- Chargé de formation.
- École nationale du chemin de fer « ouvriers » Ain Senour « **SOUK AHRAS** ».
- École nationale du chemin de fer « cadres » Rouiba « **ALGER** ».

**04 réserves du dépôt :**

- ✓ Réserve **OUED ET KEBRIT.**
- ✓ Réserve **TÉBESSA.**
- ✓ Réserve **BOUCHEGOUF.**
- ✓ Réserve **ANNABA.**

- Le soutien technique et les conventions avec les concepteurs « canadiens –allemands – Belge .....» pour l'assistance en l'entretien et en documentation et les améliorations dans ce secteur.
- Partenariat avec des entreprises algériennes :

- **SONELGAZ.**
- **ARCELOR MITTAL.**
- **AL HADJAR.**
- **SONATRACH.**
- **FERROVIAL.**
- **ANTRE .....**

#### **IV-6-4- CLASSEMENT DES SITES ÉTUDIÉS :**

Notre travail est limité au niveau de la section du Diesel qui se spécialise dans la maintenance des locomotives Diesel et la sous direction technique qui prend en charge la gestion de la maintenance étant donné que notre travail concerne les locomotives Diesel.

#### **IV-6-5- DÉCOMPOSITION TOPO FONCTIONNELLE :**

La section diesel a beaucoup de fonctions dans l'entreprise, la prise en charge des visites périodiques effectuées aux locos **VM « visite mensuelle »** + **VT «visite trimestrielle »** + **VA « visite annuelle »** en plus et à cause d'un manque d'effectif les **RA « révision accidentelle »** un type de maintenance corrective, chaque type à une gamme des travaux planifiés et exigés d'après les recommandations de constructeur Canadian **GM** et l'exigence des instructions de la **SNTF**. D'après le suivi qu'on a effectué, on a trouvé la gamme suivante des travaux :

### **Gamme de la maintenance préventive appliquée :**

- Calcul de la pression de la **Cuve**.
- Calcul de la pression de la **Cp**.

### **VISITE DU MOTEUR DIESEL :**

- Visite des culasses pont culbuteurs.
- Visite des chemises pistons.
- Visite des bielles vilebrequin.
- Nettoyage et visite des regards et des boîtes à air.
- Complément d'eau distillée.
- Charge d'huile 04 fus « 880 litres » pour les 060 et « 440 litres » pour les 040.
- Filtration complète « filtre à huile + filtres à gasoil + filtre turbo compresseur ».
- Visite des pompes « pompe à huile + pompe de reprise + pompe à gasoil ».

### **VISITE DE L'APPAREILLAGE ÉLECTRIQUE :**

- Visite de la génératrice principale **AR10**.
- Visite de la génératrice auxiliaire **GA**.
- Visite des relais et des boîtes de commandes.
- Remplacement des balais pour les alternateurs associés et l'alternateur auxiliaire et l'alternateur principal.

### **VISITE DU MOTEUR DE TRACTION :**

- Visite et serrage des câbles et des causes **MT**.
- Remplacement des balais du collecteur des moteurs de traction.

### **VISITE DES DEUX BOGIES :**

- Visite des nez et des tampons graisseurs.
- Visite des boîtes à cylindre de frein et des boîtes à sable.
- Visite des boisseaux et plongeurs.
- Remplacement des semelles de frein.

Pour les tâches de la maintenance corrective appliquée, les actions sont injectées selon le problème trouvé en cas d'accident ou déraillement du train.

#### **IV-6-6- MOYENS DE MAINTENANCE :**

- ✓ La plaque tournante.
- ✓ L'outillage technique.
- ✓ La disponibilité de tous les modèles des machines outil.
- ✓ L'effectif nombreux.
- ✓ La surveillance de la divisions qualité et la sous direction de maintenance.
- ✓ La disponibilité des documents techniques et les schémas.
- ✓ La disponibilité des pièces de rechange.
- ✓ La disponibilité des enregistrements précédentes des actions effectuées.

#### **IV-6-7- MATRICE DE CRITICITÉ RELATIVE A LA SNTF :**

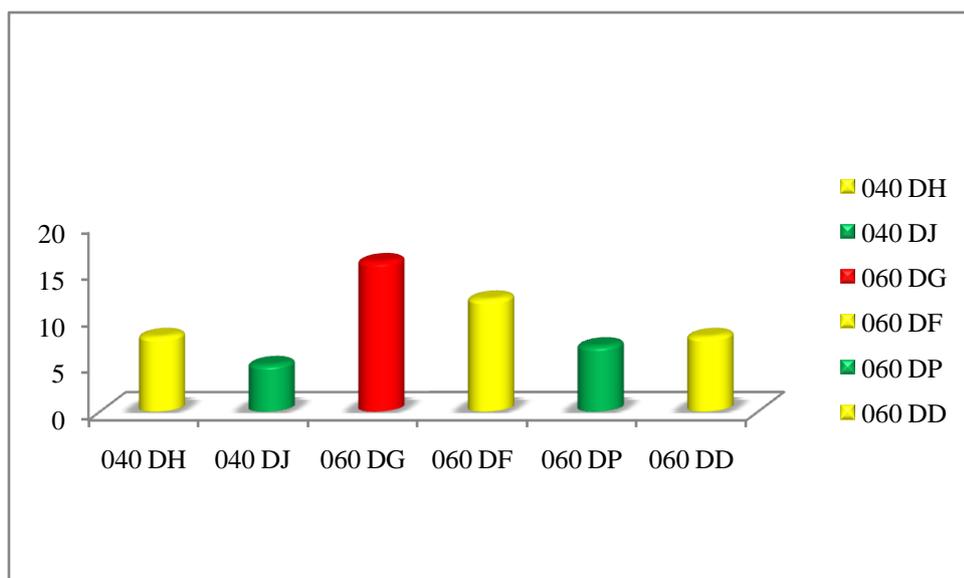
La matrice de criticité permet de répartir les risques identifiés et évalués dans trois domaines de criticité :

- **DOMAINE ORANGE :** risques faibles et acceptables.
- **DOMAINE VERT :** risques moyens et à améliorer.
- **DOMAINE ROUGE :** risques forts et inacceptables.

D'après la sous direction technique, on trouve les résultats suivants en 2010 :

<b>TYPE LOCOS</b>	<b>MOTEUR DIESEL + ACCESSOIRES</b>	<b>APPAREILLAGE ÉLECTRIQUE</b>	<b>BOGIE</b>	<b>TOTAL</b>
<b>040 DH</b>	05 PANNES	03 PANNES	/	<b>08 PANNES</b>
<b>040 DJ</b>	02 PANNES	01 PANNE	02 PANNES	<b>05 PANNES</b>
<b>060 DG</b>	10 PANNES	05 PANNES	01 PANNE	<b>16 PANNES</b>
<b>060 DF</b>	08 PANNES	02 PANNES	02 PANNES	<b>12 PANNES</b>
<b>060 DP</b>	03 PANNES	03 PANNES	01 PANNE	<b>07 PANNES</b>
<b>060 DD</b>	04 PANNES	03 PANNES	01PANNE	<b>08 PANNES</b>

*Tableau IV-1.moyen des pannes par technologie.*



*Figure IV-1. Criticité des pannes par rapport aux modèles GM.*

D'après les résultats, on a trouvé que les locos les plus susceptibles à être en état de défaillance ce sont les « **DG** ».

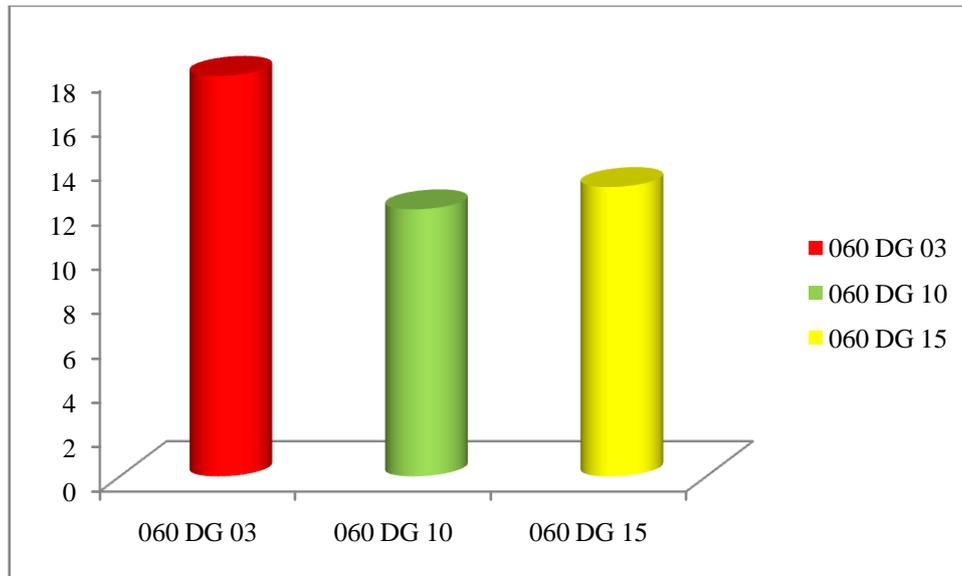
Il y'a **03** locomotives du type **DG** au **DPML SOUK AHRAS** :

- **060 DG 03.**
- **060 DG 10.**
- **060 DG 15.**

D'après l'étude des dossiers techniques dans la sous direction technique des trois locomotives, on a trouvé les résultats comme suit :

<b>TYPE LOCOS</b>	<b>MOTEUR DIESEL + ACCESSOIRES</b>	<b>APPAREILLAGE ÉLECTRIQUE</b>	<b>BOGIE</b>	<b>TOTAL</b>
<b>060 DG 03</b>	12 PANNES	04 PANNES	01 PANNE	<b>17 PANNES</b>
<b>060 DG 10</b>	10 PANNES	02 PANNES	/	<b>12 PANNES</b>
<b>060 DG 15</b>	11 PANNES	02 PANNES	02 PANNES	<b>15 PANNES</b>

*Tableau IV-2. Total des pannes sur 060 DG.*



*Figure IV-2. Criticite des pannes sur les 060 DG.*

Alors, on peut dire que la locomotive la plus susceptible à être en état de panne c'est la **060 DG 03**.

#### **IV-6-8- LIMITATION DES PARTIES À ÉTUDIER :**

D'après l'analyse statistique des chiffres officielles de la part de la sous direction technique au niveau du dépôt principal de maintenance des locomotives de Souk Ahras, on peut choisir la locomotive **060 DG 03** pour notre étude de la maintenance basée sur la fiabilité.

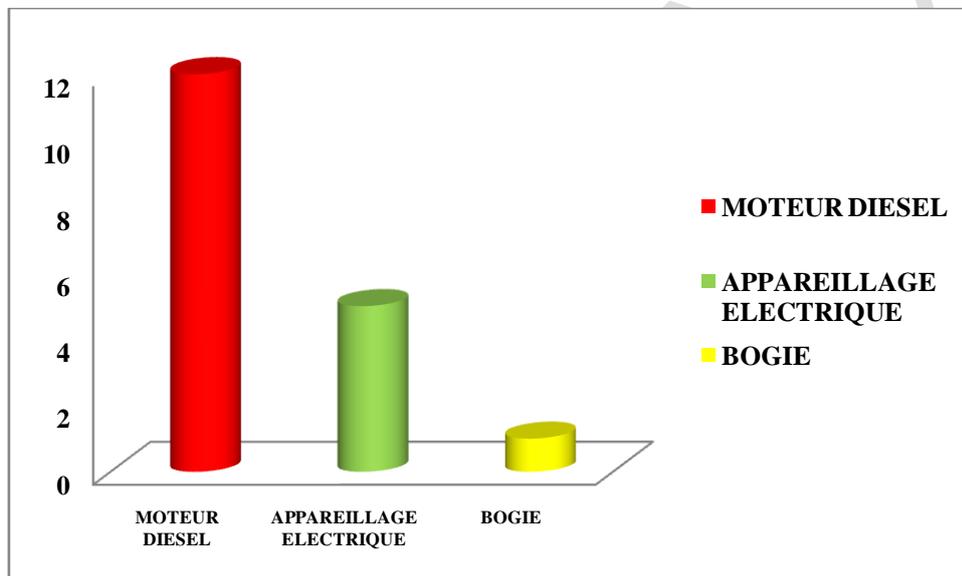
**ETAPE 02 : ANALYSE DES DEFAILLANCES DES DIFFERENTS EQUIPEMENTS  
ETUDIES.**

**IV-6-9- ANALYSE DE PARÉTO :**

Selon la fiche historique 2010 pour la locomotive **060 DG 03** On A :

LOCOMOTIVE	MOTEUR DIESEL + ACCESSOIRES	APPAREILLAGE ÉLECTRIQUE	BOGIE	TOTAL
060 DG 03	12 PANNES	05 PANNES	01 PANNE	18 PANNES

*Tableau IV-3. Distribution des pannes sur 060 DG 03.*



*Figure IV-3. Criticite des pannes sur 060 DG 03.*

L'analyse de Paréto montre que la partie la plus défailante est le moteur diesel + accessoires, on peut repérer d'après l'analyse de Paréto et la fiche historique exactement les éléments les plus susceptibles à être en défaillance, alors on doit transférer les résultats de l'analyse de Paréto vers l'analyse fonctionnelle.

**IV-6-10- DÉCOMPOSITION FONCTIONNELLE :**

D'après la définition générale du moteur diesel qu'on a faite dans le deuxième chapitre, on peut citer que le moteur diesel a 04 systèmes principaux « voir chapitre **02** ».

- Système d'alimentation.
- Système d'air.
- Système de refroidissement.
- Système de graissage.

#### **IV-6-10-1- SYSTÈME D'ALIMENTATION :**

<b>ELEMENTS</b>	<b>FONCTION</b>
Réservoir à combustible	Rassembler combustible
Crépine d'aspiration de combustible	aspirer du gasoil
Pompe à combustible	Assurer le refoulement du gasoil
Filtre à combustible	Assurer la filtration du combustible
Canalisations	Transmettre le combustible
Injecteurs	Pulvériser le combustible

#### **IV-6-10-2- SYSTÈME D'AIR :**

<b>ELEMENTS</b>	<b>FONCTION</b>
Compresseur	Alimenter en air
turbocompresseur	Contrôler l'air
Réfrigérant	Refroidir l'air
Boites d'air	Accumuler l'air
Orifices d'admission d'air de la chemise	Assurer les passerelles de l'air dans la chemise
Soupapes d'échappement d'air	Exiter de l'air du cylindre
Turbine	Aspirer de l'air
Collecteur d'échappement d'air	Assurer les passerelles de sortie

#### **IV-6-10-3- SYSTÈME DE REFROIDISSEMENT :**

<b>ELEMENTS</b>	<b>FONCTION</b>
Réservoir d'eau	Alimenter en eau
Pompes à eau	Refouler l'eau
Tubulures d'entrée	Canaliser d'entrée d'eau
Post refroidisseur	Refroidir l'eau
Pipes d'eau des chemises	Assurer les passerelles d'entrée d'eau dans la chemise
Coudes de décharge des culasses	Assurer les passerelles de sortie d'eau dans la culasse
Tubulure de sortie	Canaliser la sortie d'eau

#### **IV-6-10-4- SYSTÈME DE GRAISSAGE :**

<b>ELEMENTS</b>	<b>FONCTION</b>
Réservoir d'huile	Alimenter en huile
Carter d'huile	Localiser l'huile au moteur diesel
Pompe de reprise d'huile	Aspirer l'huile
Carter de filtre à huile	Conserver l'huile
Pompe principale	Refouler l'huile
Tubulure de graissage principale	Passer l'huile au moteur diesel
Clapet de décharge	Détecter l'huile de haute pression
Canalisations	Passer l'huile
Filtre à huile	Filtrer l'huile
Conduite d'arbre à cames	Passer l'huile dans l'arbre à cames
Filtre de recirculation	Filtrer l'huile
Filtre de turbocompresseur	filtrer l'huile
Tubulure de graissage principale	canaliser l'axe culbuteur

Alimentation d'huile du vilebrequin	Canaliser l'huile vers le vilebrequin
Canalisation d'huile des pistons	passer la lubrification des pistons

#### IV-6-10-5- ÉLÉMENTS DE PUISSANCE :

ELEMENTS	FONCTION
Arbre à cames	Contrôler le mouvement des doigts
Axe culbuteur	Lubrifier des doigts culbuteurs
Doigts culbuteurs	Manipuler les étriers
Etriers	Maintenir les porte soupape + porte injecteur
Soupapes d'échappement d'air	Contrôler le mouvement d'air
Injecteurs	Pulvériser
Culasses	Maintenir les porte soupape + porte injecteur + sortie « air + eau »
Joint de culasse	Fixer
Chemises	Assurer l'entrée d'eau + espace de mouvement des pistons
Entretoises	Assurer la pose des chemises
Pistons	Maintenir la porte bielle + élément de balayage
Porte pistons	Fixer la bielle
Bielles	Transmettre le mouvement des pistons
Coussinets	Lubrifier le support
Vilebrequin	Alimenter les éléments de transmission de l'énergie mécanique

#### **IV-6-11- ANALYSE FONCTIONNELLE :**

##### **1- PHASE DE DEFINITION DES FONCTIONS ASSUREES PAR LA FONCTION MAINTENANCE**

#### **IV-6-11-1- FONCTIONS PRINCIPALES :**

##### **FP01**

Permettre à la sous direction de maintenance de livrer les locomotives dans les intervalles planifiés.

##### **FP02**

Permettre à la sous direction technique d'organiser et planifier les tâches des locomotives.

##### **FP03**

Permettre à la sous direction technique de fournir des locomotives maintenues vers la direction mouvement.

##### **FP04**

Permettre à la division mouvement de respecter les exigences des bureaux des transactions.

##### **FP05**

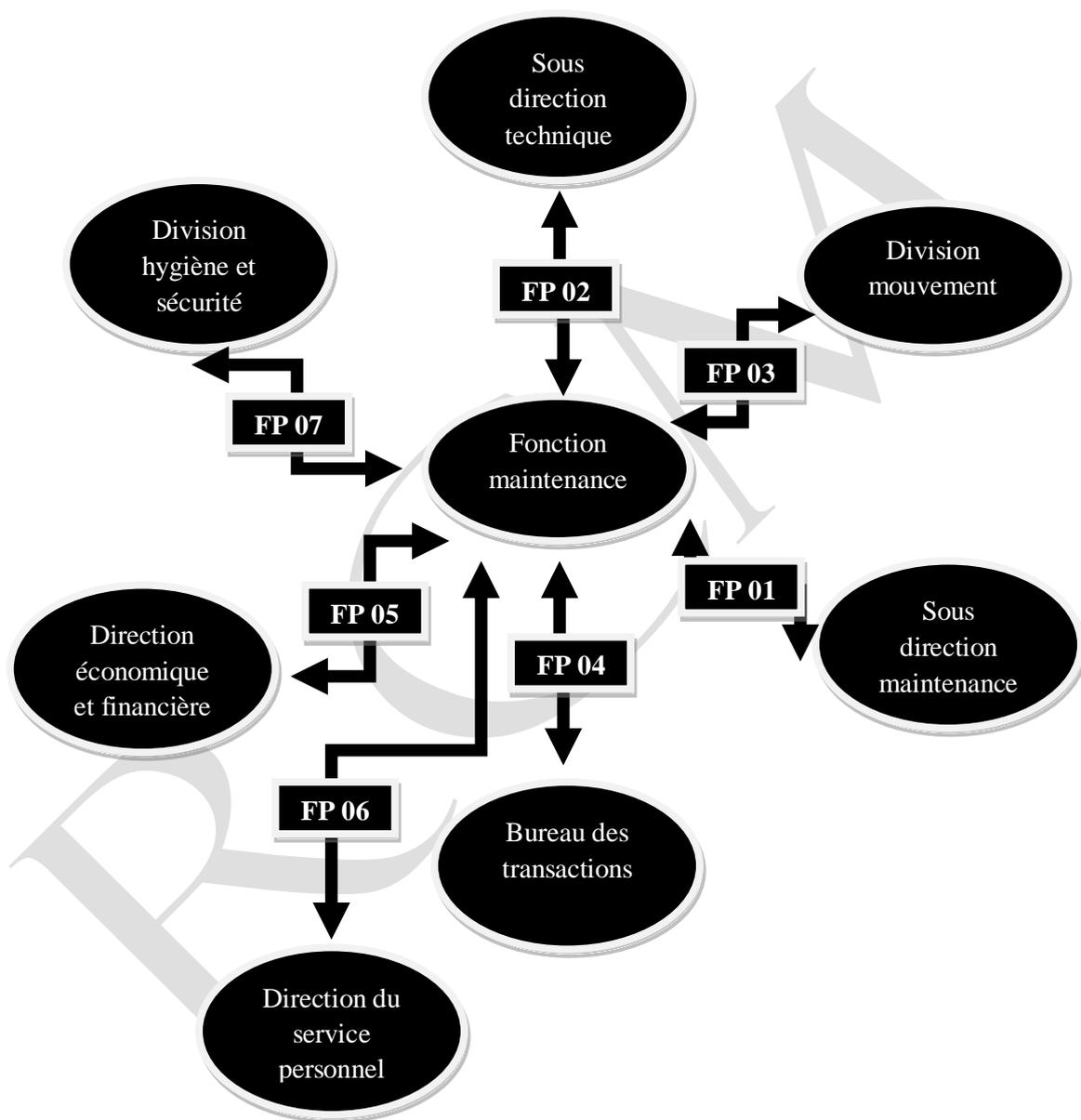
Permettre au bureau de transactions de respecter les conventions avec les clients.

##### **FP06**

Permettre à la sous direction de maintenance d'utiliser l'effectif personnel de l'entreprise.

##### **FP07**

Permettre à la sous direction de maintenance de collaborer avec la division hygiène et sécurité



*Figure IV-4. Fonctions principales.*

#### **IV-6-11-2- FONCTIONS CONTRAINTES :**

##### **FC01**

Collaborer avec la division hygiène et sécurité pour respecter les normes exigées.

##### **FC02**

Collaborer avec la sous direction technique pour les enregistrements techniques des locomotives.

##### **FC03**

Faire participer le personnel de la maintenance pour la collecte des informations au service technique.

##### **FC04**

Exiger au personnel de respecter les normes de maintenance appliquées selon les instructions techniques.

##### **FC05**

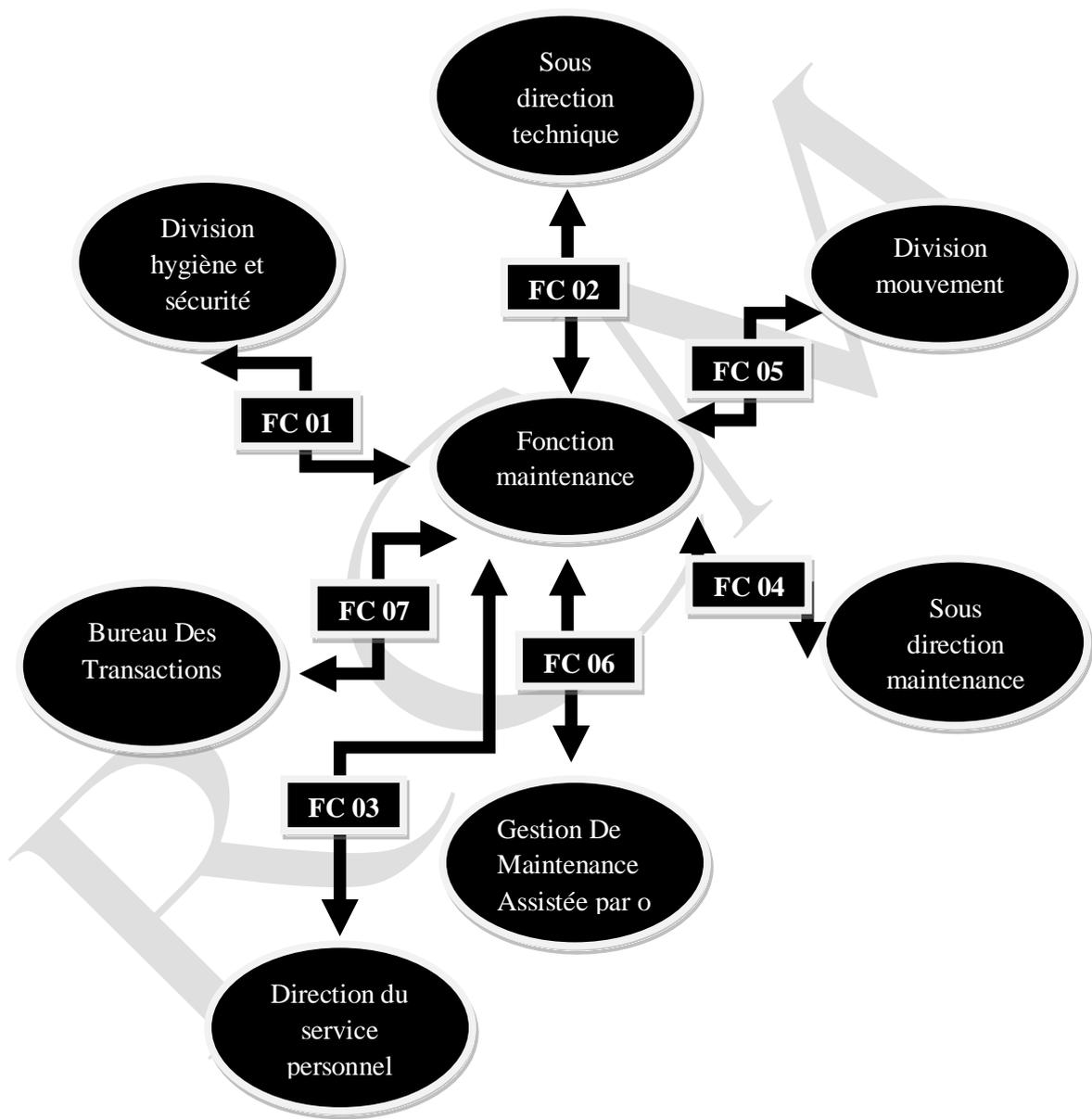
Cordonner le service technique avec la division mouvement.

##### **FC06**

Assurer un personnel qualifié surtout dans la sous direction technique et la gestion de maintenance assistée par ordinateur.

##### **FC07**

Réduire les incertitudes entre les tâches planifiées en mouvement prévu et les mouvements actuels.



*Figure IV-5. Fonctions contraintes.*

#### **IV-6-11-3- FONCTIONS ÉLÉMENTAIRES :**

##### **FT 01**

Assurer l'acquisition des données nécessaires (historique, retour d'expériences...).

##### **FT 02**

Choisir les moyens et outils adaptés pour mener à bien les travaux de maintenance.

##### **FT 03**

Définir les ordres des travaux et les ordonnancer.

##### **FT 04**

Veiller à gérer les ressources humaines et matérielles pour réaliser les opérations de maintenance.

##### **FT 05**

Réaliser les travaux de maintenance et exécuter les travaux.

##### **FT 06**

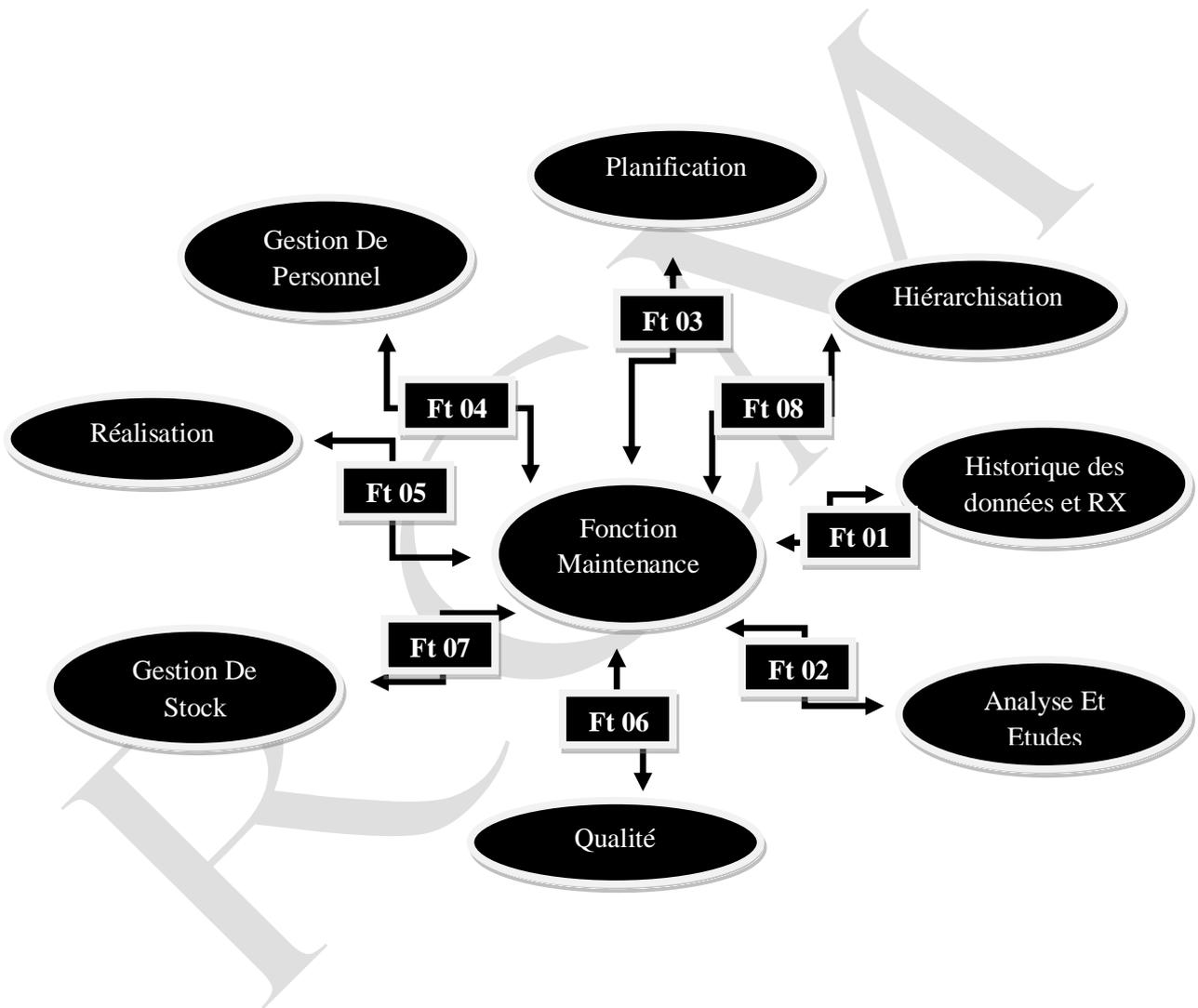
Choisir et définir la qualité des méthodes adéquates de maintenance.

##### **FT 07**

Gérer le magasin et les pièces de rechange.

##### **FT 08**

Respecter l'hierarchisation du dépôt et les fonctions techniques pendant la réalisations des travaux.



*Figure IV-6. Fonctions élémentaires.*

#### **IV-6-11-4- ELIMINATION DES FONCTIONS CONTRAINTES :**

##### **Problématique :**

D'après l'étude des fonctions élémentaires de la sous direction de maintenance et les fonctions contraintes, on a conclu absolument la non cohérence entre les trois services principaux « sous direction de maintenance, sous direction technique, division qualité » et les processus techniques entre la sous direction de maintenance et « les sections et les laboratoires ».

##### **Idée Proposée :**

La création d'un service ou une division logistique au niveau du dépôt principal de maintenance des locomotives de **SOUK-AHRAS** peut accumuler les options suivantes :

##### **➤ Contrôle, gestion et suivi des actions de maintenance du côté technique :**

La division logistique peut contrôler les actions effectuées sur les locomotives par un registre de suivi des locomotives ou par le bien suivi de « registre de réparation des machines » exigé par la société nationale du transport ferroviaire mais d'une façon pertinente, en plus la gestion des différents processus et mettre sur l'œil toutes les opérations effectuées surtout les documents utilisés pour l'approvisionnement des pièces de rechange pour contrôler le flux de consommation des pièces pour chaque locomotive.

##### **➤ La modélisation mathématique :**

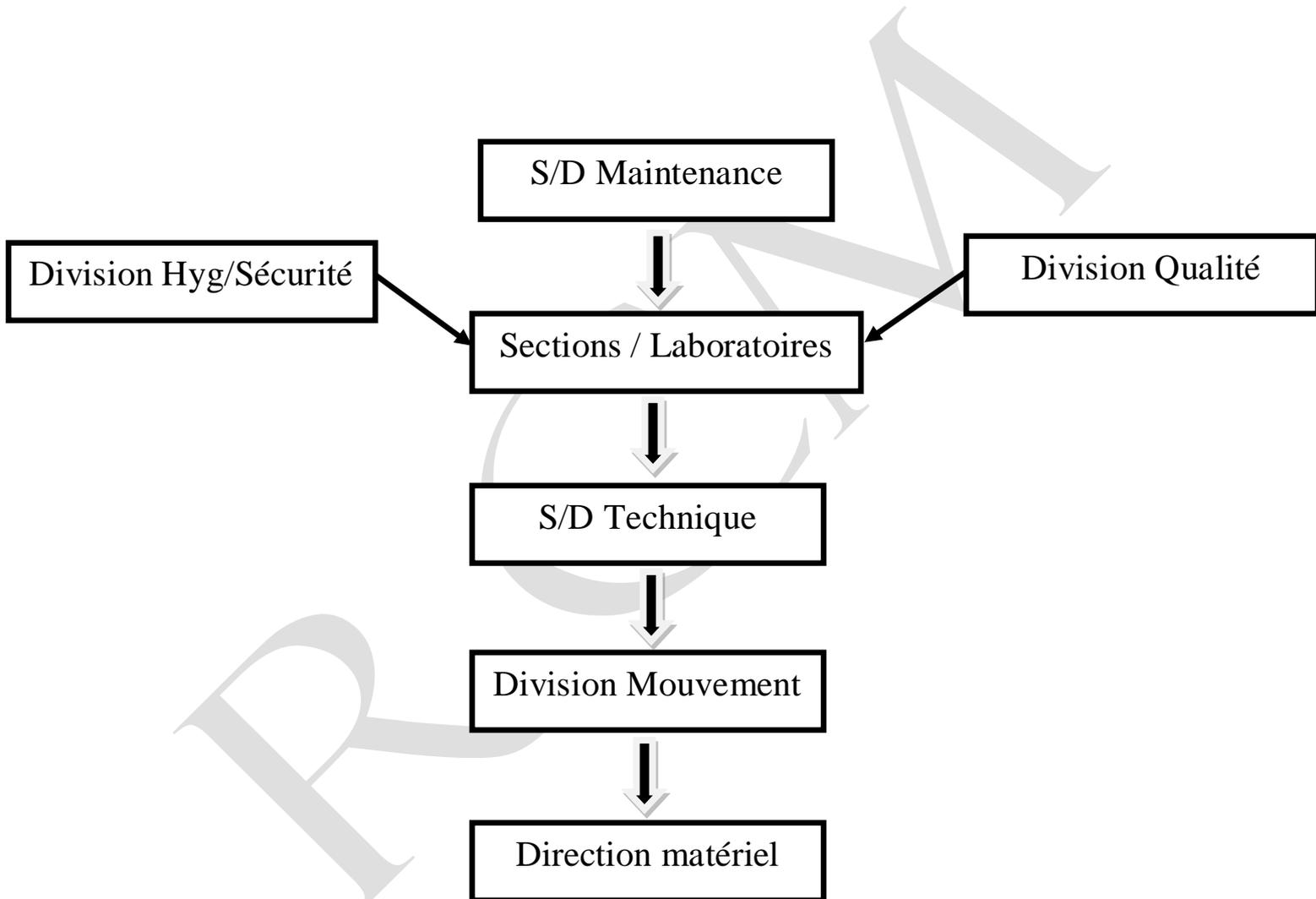
La division logistique et d'après les enregistrements de toutes les actions de maintenance effectuées sur les locomotives peut avec l'aide de la **GMAO**, transférer l'historique de maintenance vers l'outil informatique qu'on doit l'expliquer ultérieurement pour interpréter les résultats techniques vers une modélisation mathématique qui nous offre des données très efficaces pour en tenir en compte comme :

- ✓ La consommation de chaque locomotive.
- ✓ Indisponibilité des locomotives et les causes.
- ✓ Disponibilité du personnel.
- ✓ **FMDS.**
- ✓ Coûts.

##### **➤ Coordination entre la sous direction de maintenance et la sous direction technique :**

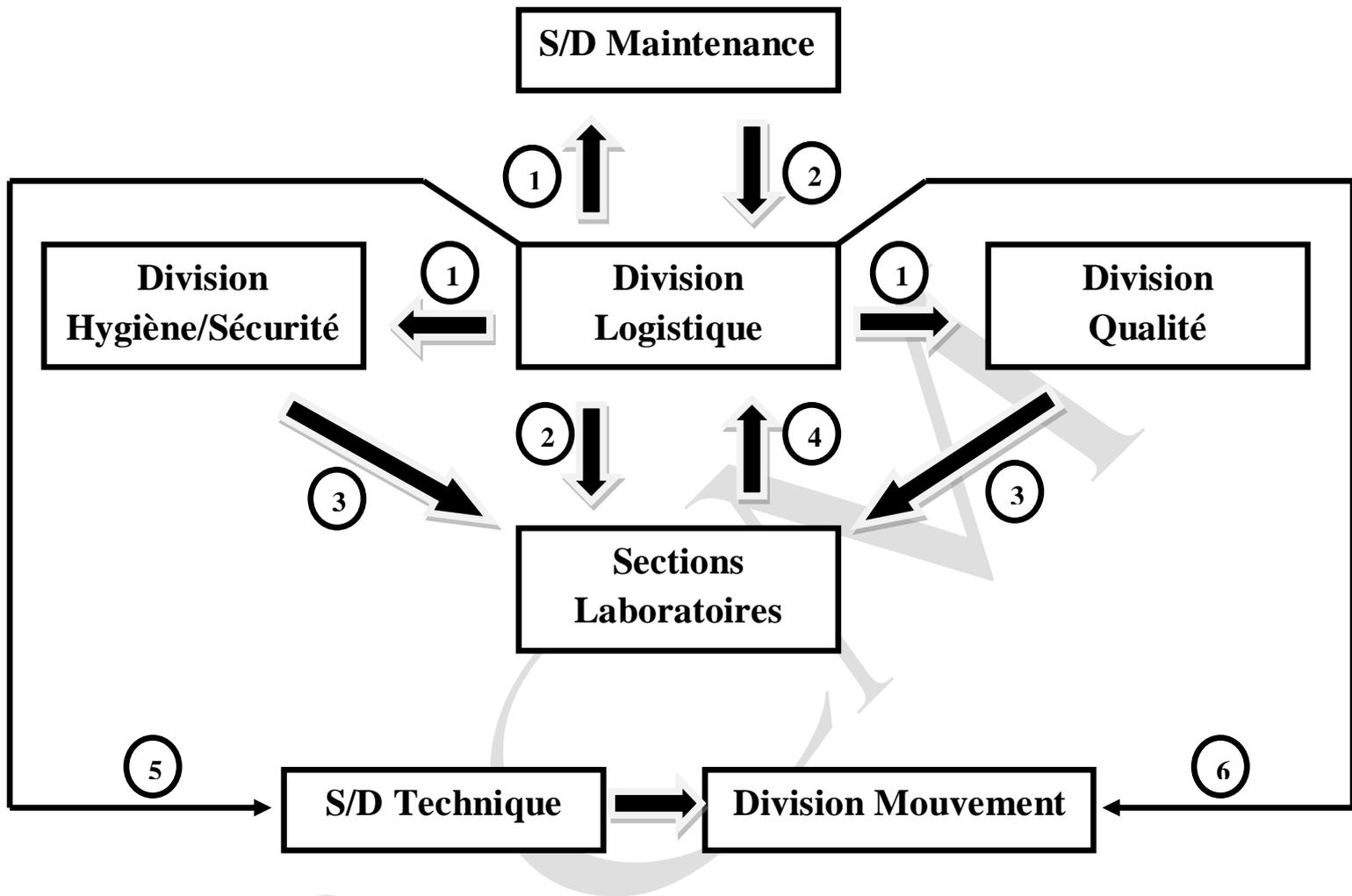
Le travail de la sous direction technique est basé sur les données offertes par la sous direction de maintenance. La division logistique a la capacité de prendre en charge de fournir ces données pour aider la sous direction technique à mesurer l'état des locomotives avant de les transférer vers la voie et les mettre à disposition de la division mouvement pour éviter tous problèmes en cas de déraillement ou mal fonctionnement.

La séquence actuelle :



*Figure IV-7. Processus actuels de travail.*

La Séquence Proposée :



**01** : Données.

**02** : Décisions.

**03** : Surveillance.

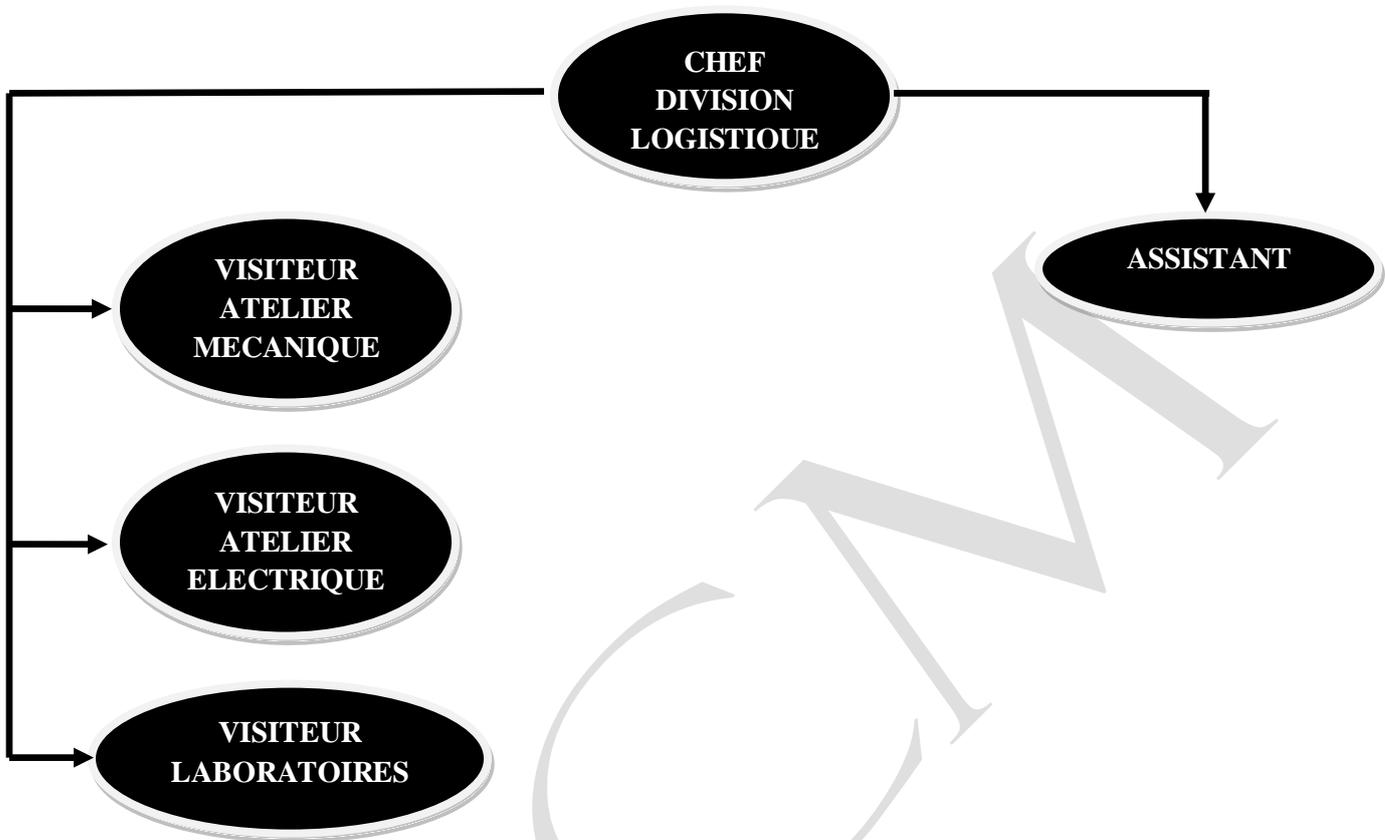
**04** : Rapport.

**05** : Etat.

**06** : Recommandations.

*Figure IV-8. Processus proposés.*

Organigramme de la division logistique :



*Figure IV-9. Organigramme de la division logistique.*

- **Chef division logistique** : Prend en charge la responsabilité de la division et la gestion et l'analyse des informations.
- **Assistant** : Prend en charge la coordination entre la division et les sous directions « technique - maintenance » et la division mouvement.
- **03 Visiteurs** : Collectent les informations et les transfèrent vers la division.

#### **IV-6-11-5- SYSTEME « ERP / PGI » :**

##### **Fiche historique :**

L'ERP est un outil très puissant pour enregistrer toutes les actions de maintenance périodiques et curatives.

##### **Corpus technique :**

Comporte les schémas techniques pour chaque élément constitutif et toutes les documentations nécessaires par un niveau haut d'accessibilité et de pertinence.

##### **Enregistreur relevé de boudins :**

Sert à mémoriser les résultats de calcul des paramètres « diamètre – épaisseur – hauteur ...etc. » et les contrôler.

##### **Suivi du personnel :**

Sert à suivre les absences et les présences des équipes et les contrôler par cas et les classer selon leurs rendements.

##### **Remarque :**

Le système ERP partage les groupes par hiérarchisation de l'équipe « chef de brigade – chefs d'équipes – ouvriers » pour responsabiliser toutes les personnes ce qui augmente le rendement.

##### **Recommandations :**

En terme des rappels, ERP fournit en états les dernières actions effectuées sur les locomotives pour faciliter à clôturer les pannes et aider à détecter les différentes anomalies résiduelles, cette fonction est très riche en informations surtout en terme de dégradation.

##### **Calcul des indicateurs :**

Ici l'ERP, à l'aide d'une banque de données, peut accomplir les paramètres de fiabilité, disponibilité, maintenabilité, sécurité, tels que les **MTBF, MTTR, MUT, R(T), F(T), TRS** ...etc. par des requêtes mathématiques qui aident à connaître la source des ennuis « manœuvre, mauvaises interventions, dégradation progressive, efficacité de la maintenance... ».

##### **Rapport :**

Cet outil fournit des rapports détaillés suite à la demande de la sous direction de maintenance ou le service matériel ou d'autres responsables à propos de tout ce qu'il se passe au niveau des ateliers « travaux, personnels, signalisations, ...etc. » dans une courte durée par des rapports pleins de détails.

### Pouvoir d'enrichir :

Ce système erp donne l'accès et permet d'enrichir par d'autres tables et requêtes selon les besoins de futur de notre dépôt et d'après le retour d'expériences des responsables et leurs recommandations en termes d'un soutien logistique intégré.

### Divers :

L'outil **ERP** comporte d'autres fonctions hautement accélérées comme la grille **AMDEC** « l'analyse des modes de défaillance et de leurs effets et de leurs criticité » qui peut définir tous les points critiques aux locomotives diesel et les transmettre en diagrammes et histogrammes aussi la matrice de criticité et d'autres fonctions.

**HISTORIQUE DE MAINTENANCE**

N° [ ]

LOCOMOTIVES [ 060 DG 03 ]

TYPE D'INTERVENTION [ VM ]

DATE D'INTERVENTION [ 26/04/2011 ]

**PARTIES AVARIES**  
MOTEUR DIESEL+ACCESSOIRES

**PIECES OU ORGANES AVARIES**  
CULASSE ET ACCESSOIRES; SYSTEME D'ALIMENTATION; COMMANDES DU MOTEUR

**PIECES OU ORGANES DE RECHANGES**  
CULASSE EQUIPEE

**ELEMENTS AVARIES**  
CULASSE

**PERSONNELS**  
MABROUKI MED LAARBI;  
GUERLOUDJ MOHAMED;  
HANDEL; HASNAOUI

**DETAILS D'INTERVENTION**  
REPLACE CULASSE POSITION 06 AVEC SOUPAPES + INJECTEUR

**OBSERVATIONS**  
VM EFFECTUEE AVEC SUCCESS

*Figure IV-10. Système ERP.*

L'explication de notre application pour la gestion de maintenance assistée par ordinateur d'une manière informatisée, sera donnée dans le chapitre suivant.

**IV-6-12- MODES DE DEFAILLANCES FONCTIONNELLES :****IV-6-12-1- ANALYSE DE LA FICHE HISTORIQUE :**

<b>N</b>	<b>DATE</b>	<b>TYPE D'OPERATION</b>	<b>DESCRIPTION</b>
01	03/01/2010	RA	RA culasse position 06
02	15/01/2010	VM	VM effectuée avec succès
03	28/01/2010	RA	RA élément de puissance n°06 chargement d'huile 880 litres
04	15/02/2010	RA	RA alternateur D14
05	28/02/2010	VM	VM effectuée avec succès
06	22/03/2010	RA	RA joint de culasse position n°7
07	25/03/2010	VT	VT effectuée avec succès Chargement d'huile 880 litres
08	20/04/2010	VM	VM effectuée avec succès
09	05/05/2010	RA	RA interrupteur cabine de conduite
10	19/05/2010	VM	VM effectuée avec succès
11	12/06/2010	RA	RA élément de puissance n°12 RA collecteur d'échappement
12	15/06/2010	RA	chargement d'huile effectué 880 litres
13	25/06/2010	VT	VT effectuée avec succès Chargement d'huile 880 litres
14	20/07/2010	RA	RA chemise position °2 RA tuyaux de transmission d'eau
15	24/07/2010	VM	VM effectuée avec succès
16	02/08/2010	RA	RA GP manque de puissance RA GA remplacement des balais
17	12/08/2010	RA	RA bielle position 05
18	28/08/2010	VM	VM effectuée avec succès
20	15/09/2010	VT	VT effectuée avec succès Chargement d'huile 880 litres

21	01/10/2010	RA	RA boisseau + plongeur RA chaufferette de freinage rhéostatique RA culasse n°2
22	24/10/2010	RA	RA bielle position 11
23	26/10/2010	VM	VM effectuée avec succès
24	05/11/2010	RA	RA élément de puissance n°15 RA circuit GR de traction
25	17/11/2010	VM	VM effectuée avec succès
26	26/12/2010	VA	VA effectuée avec succès Chargement d'huile 880 litres
27	30/12/2010	RA	RA élément de puissance n12 RA chemise n 15 RA soupapes d'échappement d'air position n15 RA injecteur position n°15 chargement d'huile 880 litres

#### IV-6-12-2- MATRICE DE CRITICITE :

LOCOMOTIVE	MOTEUR DIESEL + ACCESSOIRES	APPAREILLAGE ÉLECTRIQUE	BOGIE	TOTAL
060 DG 03	12 PANNES	05 PANNES	01 PANNE	20 PANNES

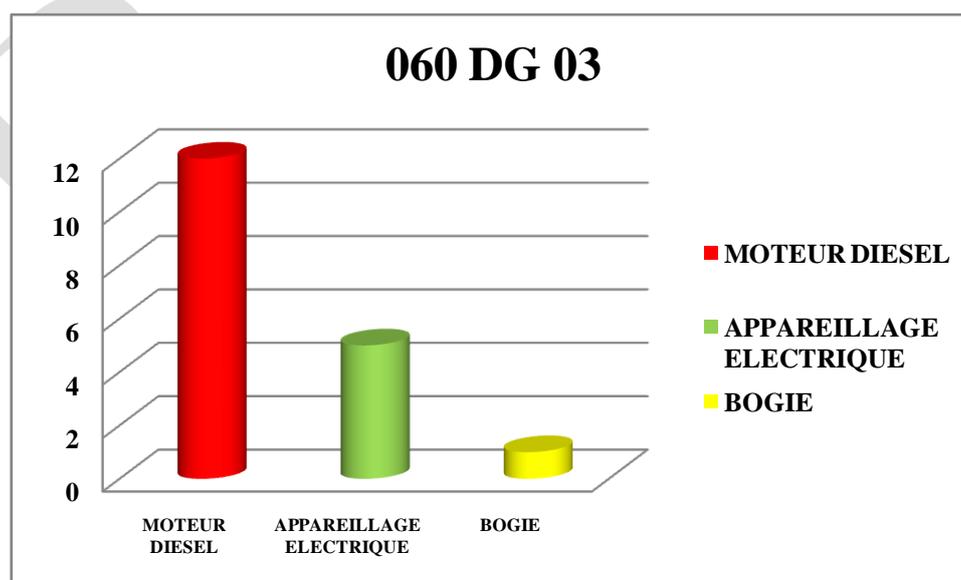


Figure IV-11. Criticité des pannes sur 060 DG 03.

**IV-6-12-3- CLASSEMENT / LIMITATION DES DEFAILLANCES FONCTIONNELLES :**

**Filtration des pannes non mécanique :**

<b>LOCOMOTIVE</b>	<b>MOTEUR DIESEL + ACCESSOIRES</b>
<b>060 DG 03</b>	<b>12 PANNES</b>

**IV-6-12-4- DECOMPOSITION ORGANIQUE :**

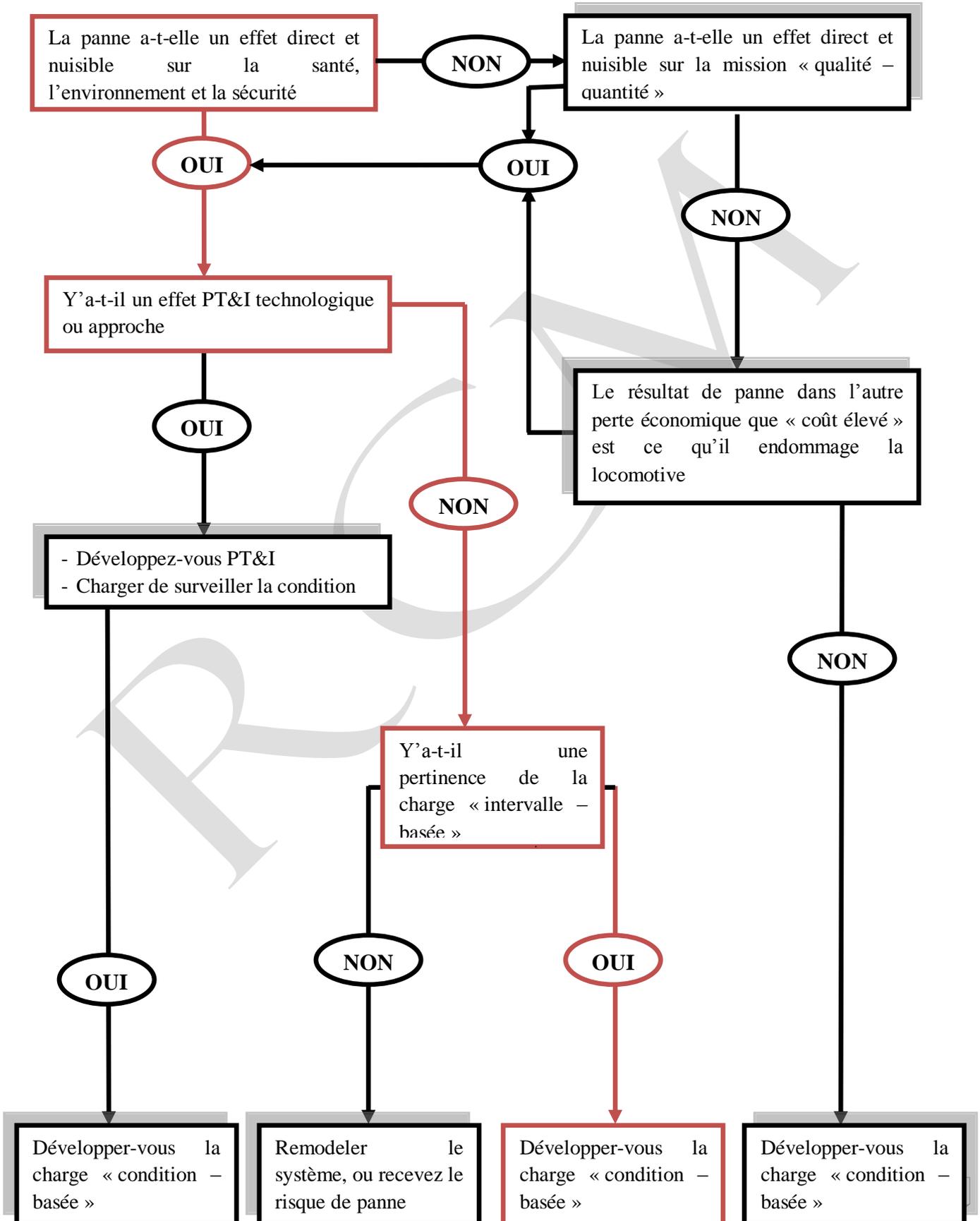
<b>ORGANES</b>	<b>NOMBRE DE PANNES</b>
Elément de puissance	<b>05 Pannes</b>
Chemise	<b>02 Pannes</b>
Culasse	<b>02 Pannes</b>
Soupapes d'échappements d'air	<b>01 Panne</b>
Injecteur	<b>01 Panne</b>
Bielle	<b>02 Panne</b>
Pipe & tuyaux de transmission d'eau	<b>01 Panne</b>
Collecteur	<b>01 Panne</b>

**IV-6-12-5- Analyse AMDEC :**

N	DEFAILLANCE	EFFETS	CAUSES	F	G	D	RISQUE
01	Fissuration culasse	-Huile endommagée -Niveau d'eau Diminué	-Eau non distillée -Perte d'eau à la culasse	2	4	2	16
02	Elément de puissance avarié	-Perte de puissance -Vibration agressive au MD	-Elément mal graissé -Elément de puissance déplacé	2	5	2	20
04	Joint de culasse avarié	-Huile endommagée -Niveau D'eau Diminué -vibration	-Durée de vie de joint dépassée	1	2	1	2
06	Elément de puissance avarié	-Perte de puissance -Vibration agressive au MD	-Elément mal graissé -Elément de puissance déplacé	2	5	2	20
08	Bruit anormale sur le collecteur	-Bruit -Grippage de la façade haute du carter moteur	-Collecteur d'échappement mal placé	1	2	1	2
11	Elément de puissance avarie	-Perte de puissance -Vibration agressive au MD	-Elément mal graissé -Elément de puissance déplacé	2	5	2	20
12	Fissuration culasse	-Huile Endommagée -Niveau d'eau diminué	-Eau non distillée -Perte d'eau à la culasse	2	4	2	16
13	Bielle avariée	-Perte de puissance -Bruit anormal	-Axe piston déséquilibré	1	5	3	15
14	Elément de puissance avarié	-Perte de puissance -Vibration agressive au MD	-Elément mal graissé -Elément de puissance déplacé	2	5	2	20
15	Elément de puissance avarié	-Perte de puissance -Vibration agressive au MD	-Elément mal graissé -Elément de puissance déplacé	2	5	2	20
	Chemise avariée	-Perte d'eau -Huile endommagée	-Eau non distillée	1	3	2	6
	Soupape + injecteur avariés	-MD étouffé -Puissance diminuée	-Etriers avariés	1	2	1	2

ETAPE 03 : DECISION DES TACHES DE MAINTENANCE

IV-6-13- LOGIGRAMME DE DECISION RCM :



#### **IV-6-14- LISTE DES TACHES CONSIDEREES :**

D'après l'instruction MI.1744 « **PROGRAMME D'ENTRETIEN PERIODIQUE LOCOMOTIVES D'EXPORTATION DIESELS 645** ».

UN MOIS OU 16.000 KM

Seulement pour l'équipement Diesel :

##### **Huile de lubrification :**

- Prenez un échantillon pour analyse.

##### **Filtres à gas-oil :**

- Vérifiez la différence de pression sur la jauge de pression des filtres à gasoil montés sur le bâti.

##### **Protecteur de diesel :**

- Vérifiez le fonctionnement.

##### **Batterie :**

- Vérifiez le niveau de l'électrolyte.
- Vérifiez le poids spécifique.
- Lavez les boîtes de batteries.

##### **Filtre à air de Diesel :**

- Vérifiez le niveau d'huile.

DEUX MOIS OU 32.000 KM.

##### **Filtre à huile de lubrification :**

- Changez les éléments des filtres.
- Nettoyez l'épurateur d'huile.

TROIS MOIS OU 48.000 KM.

##### **Filtres à gasoil :**

- Nettoyez l'épurateur d'huile.
- Changez les éléments montés du filtre sur le diesel.
- Changez le filtre monté sur le bâti.

##### **Eau de refroidissement :**

- Vérifiez la concentration du produit inhibiteur.

##### **Réservoir de gas-oil :**

- Séchez les produits de condensation.

### Filtres à air de diesel :

- Changez l'huile, vidangez et remplissez seulement.

### Batterie :

- Lavez la partie supérieure des cellules et graissez les bornes terminales.

### Diesel :

- Inspectez la vidange de la boîte à air.
- Inspectez le carter.
- Inspectez les pistons et les segments de pistons.
- Inspectez les chemises des cylindres.
- Inspectez le mécanisme dans la culasse des cylindres avec le moteur au ralenti et à la température normale de fonctionnement.
- Inspectez les conduites de gasoil et les raccords pour s'assurer qu'il n'y a pas de fuites.
- Inspectez le réseau de circulation d'eau du diesel pour s'assurer qu'il n'y a pas de fuites.

SIX MOIS OU 96.000 KM.

### Système de lubrification :

- Changez l'huile de diesel.
- Nettoyez les grilles d'aspiration d'huile.
- Nettoyez les grilles d'huile de refoulement.
- Nettoyez la cuvette à huile.
- Nettoyez l'enceinte du filtre.

### Diesel :

- Vérifiez le serrage des boulons de l'embase de la tubulure d'échappement.

UN AN OU 192.000 KM.

### Système de refroidissement :

- Inspectez et effectuez un essai de pression.

D'après la mise en place de la grille de décision **RCM**, on peut citer que l'action préférable c'est de développer la charge « **condition – basée** ».

Le type de maintenance le plus efficace pour notre cas est la maintenance basée sur la nécessité de respecter la condition des locomotives qui nécessite un suivi journalier à propos l'état de chaque locomotive ce que nous fait de réintégrer les instructions du constructeur **GM** avec les instructions exigées au **SNTF** d'après les données mathématiques qu'on peut les accomplir à partir du suivi journalier ; on peut citer les interventions comme suit :

## Pour les VP :

### Les interventions appliquées par la société :

- Calcul de la pression de la **cuve**.
- Calcul de la pression de la **cp**.
- Visite des culasses pont culbuteurs.
- Visite des chemises pistons.
- Visite des bielles vilebrequin.
- Nettoyage et visite des regards et des boites à air.
- Complément d'eau distillé.
- Charge d'huile **04** fus « **880** litres » pour les **060** et « **440** litres » pour les **040**.
- Filtration complète « filtre à huile + filtres à gasoil + filtre turbo compresseur ».
- Visite des pompes « pompe à huile + pompe de reprise + pompe à gasoil ».

### Les interventions exigées par le constructeur GM :

- Prenez un échantillon pour l'analyse.
- Vérifiez la différence de pression sur la jauge de pression des filtres à gasoil montés sur le bâti.
- Vérifiez le fonctionnement du protecteur diesel.
- Vérifiez le niveau de l'électrolyte de la batterie.
- Vérifiez le poids spécifique de la batterie.
- Lavez les boites de batteries.
- Vérifiez le niveau d'huile des filtres à air.
- Vérifiez les éléments de puissances « arbre a cames – axe culbuteur – doits culbuteur – les étriers de soupapes – les injecteurs – les soupapes d'échappement d'air – les culasses – les chemises – les axes pistons – les pistons – les bielles – les segments – les coussinets – les supports – vilebrequin ».
- Changez les éléments des filtres.
- Séchez le produit de condensation pour le réservoir de gasoil.

D'après la comparaison entre les tâches exigées et les tâches exécutées, on peut citer :

ACTIONS	ETAT
La différence de pression sur la jauge de pression des filtres à gasoil	Rejeté
Le fonctionnement du protecteur diesel	Rejeté
Le niveau de l'électrolyte de la batterie	Rejeté
Le poids spécifique de la batterie	Rejeté
Le lavage des boites à air	Rejeté
Vérification de niveau d'huile des filtres à air	Rejeté
Etat de produit de condensation pour le réservoir de gasoil	Rejeté

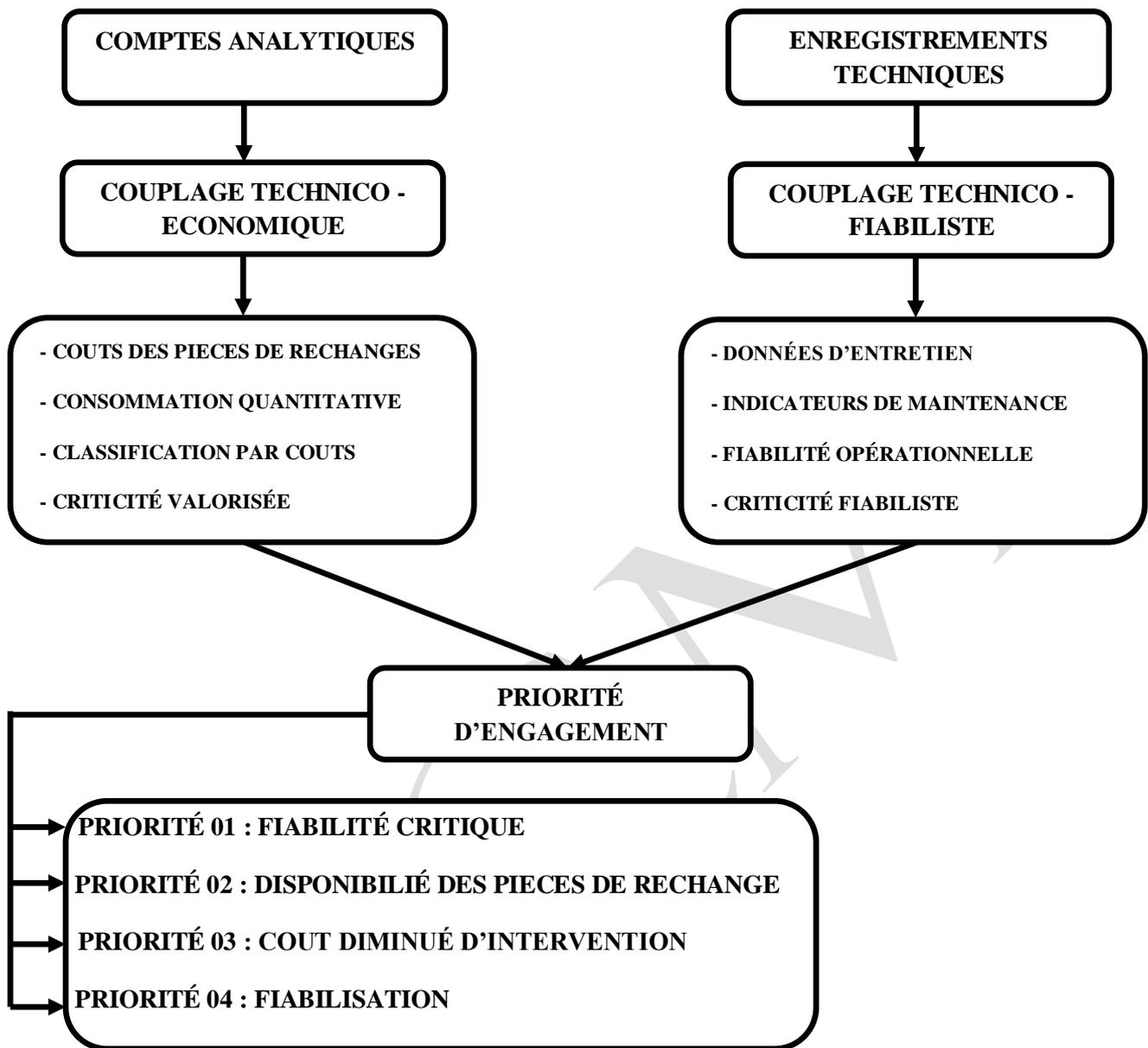
#### **IV-6-15- PLANIFICATION DES TACHES :**

##### **La sous direction technique :**

D'après la décision **D1B N4 / 2007 / ANNEXE 2** de la **SNTF** les tâches spécifiques a la sous direction technique sont :

- 1) Préparation du plan de charge.
- 2) Gestion des approvisionnement.
- 3) Suivi des inventaires.
- 4) Création des pieces.
- 5) Gestion du magasin général.
- 6) Tenir a jour la documentation technique.
- 7) **Élaboration du programme des operations periodiques et les budgets.**
- 8) Définir les specifications d'achat el les specifications techniques pour la symbolisation des articles.

Pour l'instructions **07** qui parlent a propos la planification des tâches périodiques sur les locomotives **GM**, on propose la gamme suivante :



*Figure IV-12. planification des tâches.*

**ETAPE 04 : L'ETAPE INTERACTIVE DE LA MBF**

**IV-6-16- ETUDE DU RAPPORT D'INTERVENTION :**

D'après les données trouvées au niveau de la sous direction technique on a trouvé comme suite :

<b>N</b>	<b>DATE</b>	<b>TYPE D'OPERATION</b>	<b>DESCRIPTION</b>
01	03/01/2010	RA	RA culasse position 06
02	15/01/2010	VM	VM effectuée avec succès
03	28/01/2010	RA	RA élément de puissance n°06
04	15/02/2010	RA	RA alternateur D14
05	28/02/2010	VM	VM effectuée avec succès
06	22/03/2010	RA	RA joint de culasse position n°7
07	25/03/2010	VT	VT effectuée avec succès Charge d'huile effectuée
08	20/04/2010	VM	VM effectuée avec succès
09	05/05/2010	RA	RA interrupteur cabine de conduite
10	19/05/2010	VM	VM effectuée avec succès
11	12/06/2010	RA	RA élément de puissance n°12 RA collecteur d'échappement
12	15/06/2010	RA	Chargement d'huile effectué 880 litres
13	25/06/2010	VT	VT effectuée avec succès Chargement d'huile 880 litres
14	20/07/2010	RA	RA chemise position °2 RA tuyaux de transmission d'eau
15	24/07/2010	VM	VM effectuée avec succès
16	02/08/2010	RA	RA GP manque de puissance RA GA remplacement des balais
17	12/08/2010	RA	RA bielle position 05
18	28/08/2010	VM	VM effectuée avec succès

<b>19</b>	<b>13/09/2010</b>	<b>RA</b>	<b>RA élément de puissance n°16 Chargement d'huile effectué 880 litres</b>
<b>20</b>	<b>15/09/2010</b>	<b>VT</b>	<b>VT effectuée avec succès Chargement d'huile 880 litres</b>
<b>21</b>	<b>01/10/2010</b>	<b>RA</b>	<b>RA boisseau + plongeur RA chaufferette de freinage rhéostatique RA culasse n°2</b>
<b>22</b>	<b>24/10/2010</b>	<b>RA</b>	<b>RA bielle position 11</b>
<b>23</b>	<b>26/10/2010</b>	<b>VM</b>	<b>VM effectuée avec succès</b>
<b>24</b>	<b>05/11/2010</b>	<b>RA</b>	<b>RA élément de puissance n°15 RA circuit GR de traction</b>
<b>25</b>	<b>17/11/2010</b>	<b>VM</b>	<b>VM effectuée avec succès</b>
<b>26</b>	<b>26/12/2010</b>	<b>VA</b>	<b>VA effectuée avec succès Chargement d'huile 880 litres</b>
<b>27</b>	<b>30/12/2010</b>	<b>RA</b>	<b>RA élément de puissance n12 RA chemise n 15 RA soupapes d'échappement d'air position n15 RA injecteur position n°15 Chargement d'huile 880 litres</b>

*Tableau IV-4. historique des pannes.*

**IV-6-17- MISE EN PLACE DES INDICATEURS :**

**IV-6-17-1- INTERPRÉTATION MATHÉMATIQUE DES DONNÉES :**

MOIS	PERIODE	T PREVUS DE FONCTIONNEMENT (h)	TEMPS			
			REPARATION (h)	ASTREINTE (h)	TOTALS DE REPARATION (h)	D %
JANVIER	01/01/2010 31/01/2010	744	36	04	40	94,62
FEVRIER	01/02/2010 28/02/2010	672	04	04	08	98,80
MARS	01/03/2010 31/03/2010	744	12	00	12	98,38
AVRIL	01/04/2010 30/04/2010	720	00	00	00	100
MAI	01/05/2010 31/05/2010	744	08	00	08	98,92
JUIN	01/06/2010 30/06/2010	720	30	06	36	95
JUILLET	01/07/2010 31/07/2010	744	08	00	08	98,92
AOUT	01/08/2010 31/08/2010	744	08	00	16	97,84
SEPTEMBRE	01/09/2010 30/09/2010	720	20	04	24	96,66
OCTOBRE	01/10/2010 31/10/2010	744	26	04	30	95,96
NOVEMBRE	01/11/2010 30/11/2010	720	16	00	16	97,77
DECEMBRE	01/12/2010 31/12/2010	744	35	06	41	94,48

**IV-6-17-2- INTERPRÉTATION FIABILISTE DES DONNÉES :**

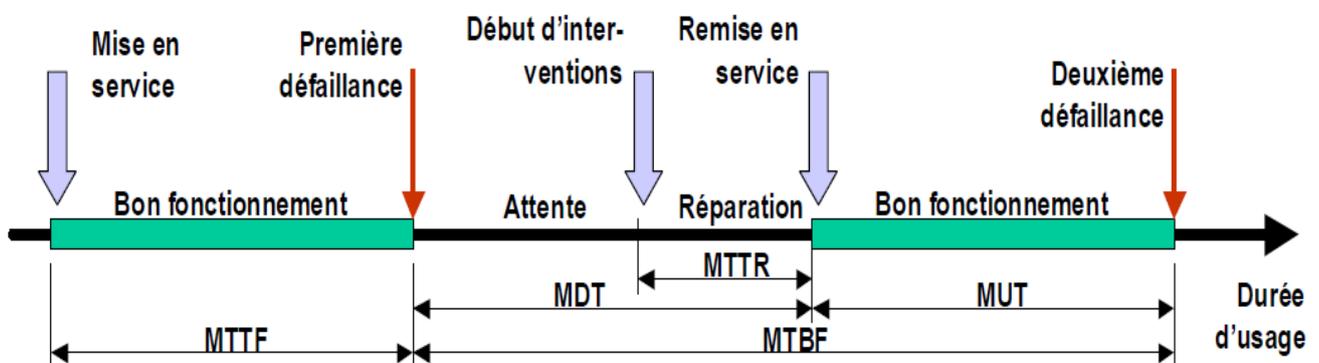


Figure IV-13. Indicateurs opérationnels FMD.

### Calcul du TTR :

Pour calculer la fiabilité il faut mettre en place les indicateurs de maintenance a l'aide des enregistrements précédentes par une cotation des périodes selon les les moments des pannes, d'après le tableau d'interprétation mathématique on peut repérer les pannes par le tableau suivant :

<b>DATE DEBUT D'ARRET</b>	<b>HEURE D'ARRET</b>	<b>DATE DE FIN D'ARRET</b>	<b>HEURE DE FIN D'ARRET</b>	<b>TTR</b>
<b>03/01/2010</b>	<b>07 h 30</b>	<b>04/01/2010</b>	<b>11 h 30</b>	<b>16 h</b>
<b>28/01/2010</b>	<b>10 h 15</b>	<b>29/01/2010</b>	<b>18 h 15</b>	<b>20 h</b>
<b>15/02/2010</b>	<b>13 h 20</b>	<b>15/02/2010</b>	<b>21 h 20</b>	<b>08 h</b>
<b>22/03/2010</b>	<b>11 h 15</b>	<b>22/03/2010</b>	<b>23 h 15</b>	<b>12 h</b>
<b>05/05/2010</b>	<b>09 h 25</b>	<b>05/05/2010</b>	<b>17 h 25</b>	<b>08 h</b>
<b>12/06/2010</b>	<b>14 h 30</b>	<b>13/06/2010</b>	<b>14 h 30</b>	<b>24 h</b>
<b>15/06/2010</b>	<b>19 h 00</b>	<b>16/06/2010</b>	<b>07 h 00</b>	<b>12 h</b>
<b>20/07/2010</b>	<b>07 h 30</b>	<b>20/07/2010</b>	<b>15 h 30</b>	<b>08 h</b>
<b>02/08/2010</b>	<b>16 h 15</b>	<b>03/08/2010</b>	<b>00 h 15</b>	<b>08 h</b>
<b>12/08/2010</b>	<b>20 h 30</b>	<b>13/08/2010</b>	<b>03 h 30</b>	<b>08 h</b>
<b>13/09/2010</b>	<b>13 h 20</b>	<b>14/09/2010</b>	<b>13 h 20</b>	<b>24 h</b>
<b>01/10/2010</b>	<b>08 h 45</b>	<b>02/10/2010</b>	<b>14 h 45</b>	<b>18 h</b>
<b>24/10/2010</b>	<b>10 h 00</b>	<b>25/10/2010</b>	<b>22 h 00</b>	<b>12 h</b>
<b>05/11/2010</b>	<b>19 h 35</b>	<b>06/11/2010</b>	<b>11 h 35</b>	<b>16 h</b>
<b>30/12/2010</b>	<b>07 h 00</b>	<b>31/12/2010</b>	<b>23 h 59</b>	<b>41 h</b>

### Calcul du TBF :

Les valeurs qui nous permettent de tracer  $[F_e(t), TBF]$  sur le papier d'Allen Plait, sont récapitulées dans le tableau suivant vu que :

**TBF** = Date debut d'arret de la panne suivante – Date de remise en servive de la panne précédente

<b>PÉRIODE</b>	<b>DATE DE REMISE EN SERVICE</b>	<b>DATE DEBUT D'ARRET DE LA PANNE SUIVANTE</b>	<b>TBF(i)</b>
01	01/01/2010 00 h 00	03/01/2010 07 h 30	55,5
02	04/01/2010 11 h 30	28/01/2010 10 h 15	574,75
03	29/01/2010 18 h 15	15/02/2010 13 h 20	403,08
04	15/02/2010 21 h 20	22/03/2010 11 h 15	829,91
05	22/03/2010 23 h 15	05/05/2010 09 h 25	1042,16
06	05/05/2010 17 h 25	12/06/2010 14 h 30	909,08
07	13/06/2010 14 h 30	15/06/2010 19 h 00	52,5
08	16/06/2010 07 h 00	20/07/2010 07 h 30	816,5
09	20/07/2010 15 h 30	02/08/2010 16 h 15	312,75
10	03/08/2010 00 h 15	12/08/2010 20 h 30	236,25
11	13/08/2010 03 h 30	13/09/2010 13 h 20	753,83
12	14/09/2010 13 h 20	01/10/2010 08 h 45	403,41
13	02/10/2010 14 h 45	24/10/2010 10 h 00	523,25
14	25/10/2010 22 h 00	05/11/2010 19 h 35	261,58
15	06/11/2010 11 h 35	30/12/2010 07 h 00	1291,41

*Tableau IV-5: Temps de bon fonctionnement.*

**Estimation de la fonction  $F_i(t_i)$  :**

L'estimation de  $F_i$  dépend du nombre de données et est définie par :

- Si  $N \leq 20$  : on utilise la méthode des rangs médians

$$F(T_i) = \frac{i-0,3}{N+0,4} \quad F(T_i) \% = \frac{\sum ni-0,3}{N+0,4} * 100$$

- SI  $N \geq 20$  : on utilise la méthode des rangs moyens

$$F(T_i) = \frac{i}{N+1} \quad F(T_i) \% = \frac{\sum i}{N+1} * 100$$

N	TBF CROISSANT	TBF(i)	N	$\sum Ni$	F(t)	F(t) %
1	52,5	8,31	1	1	0,045	4,5
2	55,5	8,59	1	2	0,110	11
3	236,25	36,58	1	3	0,175	17,5
4	261,58	40,51	1	4	0,240	24
5	312,75	48,43	1	5	0,305	30,5
6	403,08	62,42	1	6	0,370	37
7	403,41	62,5	1	7	0,435	43,5
8	523,25	81,03	1	8	0,50	50
9	574,75	89,01	1	9	0,564	56,4
10	753,83	116,74	1	10	0,629	62,9
11	816,5	126,45	1	11	0,694	69,4
12	829,91	128,52	1	12	0,759	75,9
13	909,08	140,78	1	13	0,824	82,4
14	1042,16	161,39	1	14	0,889	88,9
15	1291,41	200	1	15	0,954	95,4

*Tableau IV-6: fonction de réparation cumulée.*

#### **IV-6-18- CALCUL DE LA FIABILITÉ / ANALYSE :**

##### **Definition des trois parametres :**

Par l'utilisation du papier d'Allen plait (dit de weibull) pour détermine  $\gamma$ ,  $\eta$ ,  $\beta$  (voir ANNEXE).

➤  **$\beta$  : Paramètre de forme :**

$\beta = 1,6$     $A = 0,8966$  (coefficient liée à  $\beta$ ).

➤ **Paramètre d'échelle :**

$\eta = 39130$  min.

➤ **paramètre de position :**

$\gamma = 0$

##### **Test de Kolmogorov-Smirnov:**

L'idée du test est de comparer la fonction réelle de répartition des défaillances à la fonction de répartition théorique.

Il consiste à mesurer l'écart point par point entre ces deux fonctions, voir le tableau suivant:

$$D_{ni} = | F(t_i) \text{ réelle} - F(t_i) \text{ théorique} |$$

Rang	TBF <sub>i</sub>	F (t <sub>i</sub> ) théorique	R (t <sub>i</sub> )	λ (t <sub>i</sub> )	F (t <sub>i</sub> ) réelle	f (t <sub>i</sub> )	D <sub>ni</sub>
1	3150	0,045	0,9824	0,0000090	0,0176	0,0000088	0,0274
2	3330	0,110	0,9808	0,0000093	0,0192	0,0000091	0,0908
3	14175	0,175	0,8212	0,0000222	0,1788	0,0000182	0,0038
4	15695	0,240	0,7931	0,0000236	0,2069	0,0000187	0,0331
5	18765	0,305	0,7345	0,0000263	0,2655	0,0000193	0,0395
6	24185	0,370	0,6293	0,0000306	0,3707	0,0000193	0,0007
7	24205	0,435	0,6290	0,0000307	0,371	0,0000193	0,064
8	31395	0,500	0,4951	0,0000358	0,5049	0,0000177	0,0049
9	34485	0,564	0,4418	0,0000379	0,5582	0,0000167	0,0058
<b>10</b>	45230	0,629	0,2834	0,0000446	0,7166	0,0000126	<b>0,0876</b>
11	48990	0,694	0,2387	0,0000468	0,7613	0,0000112	0,0673
12	49795	0,759	0,2298	0,0000473	0,7702	0,0000109	0,0112
13	54545	0,824	0,1824	0,0000499	0,8176	0,0000091	0,0064
14	62530	0,889	0,1204	0,0000542	0,8796	0,0000065	0,0094
15	77485	0,954	0,0506	0,0000616	0,9494	0,0000031	0,0046

*Tableau IV.7 : Valeur de  $D_{N, \alpha}$  donnée par la table K-S.*

**D'après le tableau :**

$$D_{N, MAX} = D_{10, MAX} = \mathbf{0,0876}$$

Et selon le tableau de K-S avec  $n=15$  et le risque de se trempé  $\alpha=5\%$

$$\text{On à } D_{n, \alpha} = D_{15, 0.05} = \mathbf{0,338}$$

$$\text{Donc : } D_{n, MAX} < D_{n, \alpha}$$

$$\text{Ou : } \mathbf{0,0876} < \mathbf{0,338}$$

**Alors :** on accepte le modèle de Weibull avec un risque  $\alpha=5\%$

**Calcul de MTBF:**

La MTBF est souvent traduite comme étant la moyenne des temps de bon fonctionnement. Entre deux défaillances successives du même composant. Il est donne par la formule suivante :  $MTBF=A.\eta + \gamma$

La valeur de A et B est donnée par le tableau de weibull.

$$\beta = \mathbf{1,6} \quad A = \mathbf{0,8966} \quad B = \mathbf{0,574} \quad \gamma = \mathbf{0} \quad \eta = \mathbf{39130m}$$

$$MTBF = \mathbf{0,896 * 39130 + 0}$$

$$MTBF = \mathbf{35084 mn}$$

**Calcul de l'écart type :**

$$\sigma = B. \eta = \mathbf{0,574 * 39130}$$

$$\sigma = \mathbf{22460,62 mn}$$

**Calcul la fonction de la MTBF :**

$$R(MTBF) = \exp. [-(t-\gamma)/ \eta]^\beta$$

$$R (MTBF) = e^{-\left[\left(\frac{35084-0}{39130}\right)\right]^{1,6}} = \mathbf{43 \%}$$

On à **43%** de chance pour ne tombe pas en panne à  $T=35084 h$

**Densité de probabilité :**

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left[\frac{t-\gamma}{\eta}\right]^\beta}$$

$$f(t) = 1,6/39130(35084-0/39130)^{1,6-1} \cdot e^{-(35084-0/39130)^{1,6}}$$

$$F(t) = \mathbf{0,0016 \%}$$

On à pour **0,0016%** de chance pour ne tombe pas en panne juste à  $T=35084 h$

**Taux de défaillance :**

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-y}{\eta}\right)^{\beta-1}$$

$$\lambda(t) = \frac{1.6}{39130} \left(\frac{35084 - 0}{39130}\right)^{1.6-1}$$

$$\lambda(t) = 0,000038$$

$$\lambda(t) = 0,0038 \%$$

On a pour **0,0038%** de chance pour ne tombe pas en panne à t=**1367,1h**

**Fonction de répartition :**

$$F(t) = 1 - e^{-\left[\frac{t-y}{\eta}\right]^{\beta}}$$

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{35084}{39130}\right)^{1.6}}$$

$$F(t) = 0,57$$

$$F(t) = 57 \%$$

**Calcul de la fiabilité :**

$$R(t) = 1 - F(t)$$

$$R(t) = 1 - 0,57$$

$$R(t) = 0,43$$

$$R(t) = 43 \%$$

On a **57%** de chance pour ne tombe pas en panne juste de t=**0 h** à t=**35084 h**

**IV-6-19- OBTENTION D'UNE POLITIQUE DE MAINTENANCE PREVENTIVE:**

**Les coûts de changements systématiques préventifs :**

$$C_p = \frac{t}{T} C_{mp} + C_d \lambda t$$

$$C_p = 367426 \text{ DA}$$

**Les coûts de changements correctifs :**

$$C_c = C_{mc} + C_i$$

$$C_c = 1856587 \text{ DA}$$

**Calcul de la fiabilité en se basant sur le modèle de Weibull :**

$\beta = 2,2$        $\gamma = 0$        $\eta = 352 \text{ h}$

<b>t(h)</b>	<b>0</b>	<b>150</b>	<b>186</b>	<b>234</b>	<b>342</b>	<b>348</b>	<b>372</b>	<b>498</b>
<b>R(t)</b>	<b>1</b>	<b>0,90</b>	<b>0,77</b>	<b>0,63</b>	<b>0,5</b>	<b>0,36</b>	<b>0,22</b>	<b>0,09</b>

**Cp = 257426 DA**      **Cc = 956587 DA**

En utilisant la méthode développée, les calculs donnent :

<b>t (h)</b>	<b>R(t)</b>	<b>H (t)%</b>	<b>Cp*R(t)</b>	<b>Cc *H(t)</b>	<b>C(t)</b>	<b>Y(t)</b>
<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>257426</b>	<b>0</b>	<b>257426</b>	<b>/</b>
<b>150</b>	<b>0,90</b>	<b>15,37</b>	<b>231683,4</b>	<b>147027,422</b>	<b>378710,822</b>	<b>2524,73881</b>
<b>186</b>	<b>0,77</b>	<b>24,73</b>	<b>198218,02</b>	<b>236563,965</b>	<b>434781,985</b>	<b>2337,53755</b>
<b>234</b>	<b>0,63</b>	<b>41,14</b>	<b>162178,38</b>	<b>393539,892</b>	<b>555718,272</b>	<b>2374,86441</b>
<b>342</b>	<b>0,5</b>	<b>96,08</b>	<b>128713</b>	<b>919088,79</b>	<b>1047801,79</b>	<b>3063,74792</b>
<b>348</b>	<b>0,36</b>	<b>99,91</b>	<b>92673,36</b>	<b>955726,072</b>	<b>1048399,43</b>	<b>3012,64205</b>
<b>372</b>	<b>0,22</b>	<b>116,14</b>	<b>56633,72</b>	<b>1110980,14</b>	<b>1167613,86</b>	<b>3138,74694</b>
<b>498</b>	<b>0,09</b>	<b>226,14</b>	<b>23168,34</b>	<b>2163225,84</b>	<b>2186394,18</b>	<b>4390,34976</b>

La fonction **Y(t)** a un minimum pour **t = 186 h**. A ce temps, la fiabilité est de : **0,77**

Cela veut dire que 77 % des organes n'ont jamais eu d'avaries. On changera néanmoins systématiquement ces organes, A 186 heures, la dépense moyenne statistique par machine pour changer systématiquement un organe est de :

$$R(t) \times Cp = 0,77 \times 257426 = 198218,02 \text{ DA.}$$

A ce moment, la dépense moyenne totale (préventive + corrective) est :

$$C(t) = Cp R(t) + Cc H(t) = 434781,985 \text{ DA.}$$

Par rapport à l'absence du changement préventif, cela représente une dépense supplémentaire instantanée de **198218,02 DA**. Il est intéressant de savoir à partir de quel temps, cette dépense s'annule et devient un gain (Figure 1). La courbe **C\*** représente les coûts de réparation dans le cas où l'on n'a pas de politique d'échange préventif.

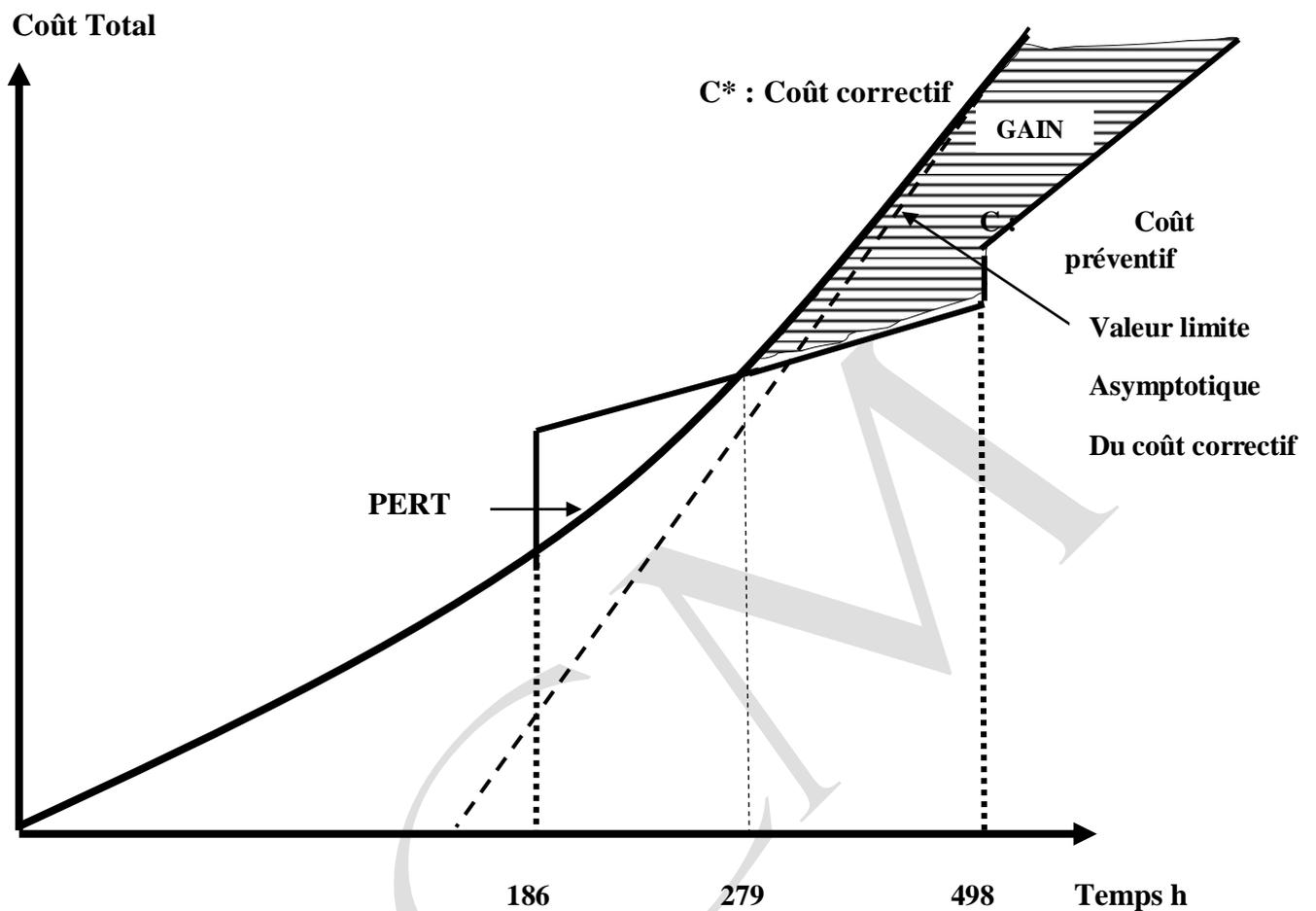


Figure IV-14. Schéma d'évolution du coût total en fonction du temps.

#### IV-6-18- BASE DE CONNAISSANCE DE L'ENTREPRISE :

D'après le schéma proposé de la division logistique, ces résultats doivent être enregistrées et adaptées par la sous direction technique en forme de recommandations pour faciliter la planification des **VP** sur les locomotives et d'aider à classer les priorités d'engagement.

Le système **ERP** proposé peut accumuler toutes ces résultats et les interprétera en forme des rapports détaillés.

## Conclusion :

Les résultats d'une analyse **RCM** sont une meilleure connaissance des fonctions, une compréhension de comment une locomotive peut défaillir et quelles en sont les causes premières pour converger sur une liste de tâches proposées et un plan d'actions qui soient applicable et efficaces. L'effet global d'une telle approche est de développer un travail d'équipe rigoureux et motivant.

Les résultats d'une telle étude à la **SNTF** sont bénéfiques sur tous les plans.

Dans notre travail, nous avons tout d'abord commencé par décrire le périmètre de l'étude à savoir la locomotive **060 DG 03** sélectionnée, une analyse fonctionnelle a été développée ce qui nous a permis d'identifier les défaillances potentielles.

Les étapes de la **RCM** sont expliquées à savoir :

- Détermination des sites et équipements à étudier.
- Analyse des défaillances fonctionnelles.
- Préparation des feuilles **AMDEC**.
- Validation des feuilles **AMDEC**.
- Etablissement du **PMT**.
- Préparation des feuilles de tâches.
- Optimisation et retour d'expérience.
- Validation du programme de Maintenance Préventive.
- Synthèse des relevés et rapports d'intervention.

Une mise en œuvre de la **RCM** incluant les neuf étapes est aussi proposée. L'étude est clôturée par une analyse de fiabilité de la locomotive et la proposition d'une méthode d'obtention d'une politique de renouvellement d'un composant de la locomotive à savoir le filtre à gasoil. Les résultats montrent une fiabilité du composant de **77%**. Cela veut dire que **77** filtres à gasoil devant être changés préventivement à chaque fois qu'ils atteignent 186 heures de fonctionnement. Ceci se traduit par une perte de **198218,02 DA** qui va se transformer en gain à partir de **279** heures.

Une telle politique contribuera certainement à optimiser les coûts de maintenance directs et indirects.

## **BIBLIOGRAPHIE :**

[Afnor]Afnor, Comment Réussir votre Maintenance, La collection des Guides de l'Utilisateur,1996.

[B.Her05] B.Herrou, M.Elghorba, L'AMDEC un outil puissant d'Optimisation de la Maintenance, CPI'2005.

[Bou03] D.Bouami, B.Herrou, Optimisation de la Démarche d'Optimisation de la Maintenance, CPI'2003.

[Her05]B.herrou, M.Elghorba, Démarche d'optimisation du plan d'action maintenance, étude de cas d'une PME marocaine CPI'2005.

[Rabia khelif], Obtention d'une politique de maintenance préventive à partir de la fiabilité en exploitation, Congrès International sur la qualité et la maintenance QUALIMA, 2004.

[M. Berveiller]. Éléments finis stochastiques : approches intrusive et non intrusive pour des analyses de fiabilité. PhD thesis, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, 2005.

[GM Corporation] Manuel d'entretien des locomotives GM type turbo compressé Chicago-Illinois 2007.