

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique
جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان -
Université Abou Bekr Belkaïd – Tlemcen
Faculté de Technologie



Mémoire présenté
pour l'obtention du **diplôme de MASTER**
Spécialité : Génie Mécanique
Option : **Maintenance Industrielle**
Présenté par : **SAID Hamza**

Intitulé du sujet

**OPTIMISATION DE LA MAINTENANCE DU PARC
D'EXPLOITATION AU NIVEAU INDUSTRIEL
(INTER ENTREPRISE « GROUPE KHERBOUCHE »)**

Soutenu publiquement le 11 juin 2017, devant le jury composé de :

Président :	BOURDIM A.	Docteur	UABB-Tlemcen
Encadreur :	KERBOUA B.	Professeur	UABB-Tlemcen
Examineur :	GUEZZEN S.	Docteur	UABB-Tlemcen
Examineur :	MANGOUCI A.	MAA	UABB-Tlemcen
Invité :	DEBBAL N.	Ing.	Groupe Kherbouche

Année universitaire 2016-2017

DÉDICACES

Je dédie ce mémoire à:

- Mes parents qui m'ont beaucoup aidé durant mes études, et qui m'ont tellement encouragé moralement et psychiquement, et qui se sont sacrifiés pour moi pour terminer mes études, que DIEU les protègent,

-Toute ma famille sans exception,

-Tous les enseignants du parcours Maintenance industrielle,

- Mes amis

- Tous mes amis de la promotion maintenance industrielle (2016-2017) sans préciser leurs noms.

-Tous ceux qui m'ont aidé durant ma vie universitaire et durant ma formation.

Avec l'aide de dieu tout puissant, j'ai pu achever ce travail que je dédie à ma très chère sœur (ALLAH yarhamha) que j'aurai aimé avoir à mes côtés mais le bon Dieu voulu qu'elle soit de son coté

SAID HAMZA

REMERCIEMENTS

Je remercie ALLAH, le Tout Puissant, de m'avoir donné le courage, la volonté et la patience de mener à terme ce présent travail.

*A travers ces quelques lignes, je tiens à exprimer mes vifs remerciements et l'expression de mon profond respect et ma gratitude pour tous ceux et celles qui m'ont aidé à la concrétisation de ce mémoire de projet de fin d'études. Je tiens tout d'abord à exprimer mon profond respect et ma reconnaissance à mon encadreur, Le professeur **KERBOUA Bachir**, Enseignant à l'université de Tlemcen, pour sa confiance, sa disponibilité et le grand intérêt qu'il m'a toujours manifesté, durant ma formation et la préparation de ce mémoire. Son enthousiasme et son optimisme communicatif m'ont été fort précieux.*

*Mes plus vifs remerciements s'adressent à **Monsieur BOURDIM Abdelghafour** enseignant à l'Université de Tlemcen, de m'avoir fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury. Que **Monsieur GUEZZEN Samir**, enseignant à l'université de Tlemcen et **Monsieur MANGOUCHE Ahmed**, enseignant à l'Université de Tlemcen, reçoivent l'expression de ma profonde reconnaissance d'avoir accepté d'être des examinateurs de ce mémoire.*

*Je n'oublie pas de remercier mon camarade **KHOLKHAL Nabil** pour son soutien qu'il a su m'apporter pour l'accomplissement de ce projet de fin d'études.*

*Mes remerciements vont également à l'ensemble du personnel de la société inter entreprise d'avoir accepté de me recevoir en stage de fin des études. Particulièrement au responsable de l'atelier maintenance monsieur **DEBBEL Mohamed Nadjib** et le chef de département d'exploitation **Benmansour Amine**.*

Je remercie vivement tous mes enseignants du département de Génie Mécanique. De la faculté de Technologie.

SAID HAMZA

RÉSUMÉ

La maintenance industrielle est d'une importance capitale pour les entreprises (groupe Kherbouche) afin d'assurer le bon fonctionnement des outils de production au niveau de département d'exploitation, c'est une fonction stratégique dans ses entreprises.

Notre travail traite le problème d'optimisation de la politique de maintenance industrielle par une application au niveau du parc roulant de l'Inter entreprise « groupe Kherbouche ».

Dans ce projet nous avons utilisé les lois de fiabilité et les méthodes d'analyse (PARETO, AMDEC et Noiret) à fin de cerner les différents équipements du parc roulant tout en cherchant celles qui présentent les défaillances les plus critiques. Puis on a ajouté un autre outil d'analyse « modèle de Weibull » qui est connu par ces méthodes graphiques et analytiques pour déterminer les paramètres de fiabilité, qui sont utilisés pour l'évaluation du taux de dégradation des équipements du parc et déterminer le type de la maintenance à appliquer.

La finalité de cette étude donne des résultats qui vont permettre d'identifier les éléments critiques et, en suite, définir un plan d'action d'une maintenance préventive qui conduit à la réduction des coûts de la maintenance et l'optimisation du bénéfice de l'entreprise.

Mots clés : *maintenance industrielle, fiabilité, AMDEC, Pareto et Noiret, défaillances, modèle de Weibull, taux de dégradation.*

ABSTRACT

Industrial maintenance is a capital importance for companies (Kherbouche group) in order to ensure the proper functioning of the production tools at the level of operating department, it is a strategic function in its companies.

Our work deals with the problem of optimization of the industrial maintenance policy by an application at the rolling stock level of the "Kherbouche Group" Inter enterpris

In this project we used reliability laws and analytical methods (PARETO, AMDEC and Noiret) in order to identify the various equipments of the rolling stock while seeking those with the most critical failures. Then, we added "Weibull model" analysis tool that is known by these graphical and analytical methods to determine the reliability parameters that are used to assess the rate of degradation of the equipment and determine the type of the maintenance to be applied.

The purpose of this study is to produce results that will enable the identification of critical elements and, consequently, to define a plan of action for preventive maintenance which leads to a reduction in maintenance costs and optimization the benefit of the company.

Keywords: industrial maintenance, reliability, AMDEC, Pareto and Noiret, failures, Weibull model, degradation rate.

ملخص

الصيانة الصناعية أمر في غاية الأهمية بالنسبة للشركات ، والتي تهدف إلى ضمان التشغيل الحسن لمرافق الإنتاج، هي وظيفة إستراتيجية في مجال الأعمال التطبيقية. ترتبط ارتباطا وثيقا بالتطور التكنولوجي المستمر. يحدد عملنا إستراتيجية صيانة تطبق من أجل تحسين تدهور المعدات على مستوى شركة "Kherbouche Inter enterprise" باستخدام نهج الصيانة على أساس الاعتمادية و التوثيقية MBF. في هذا العمل، استخدمنا طرق التحليل وقوانين الموثوقية المشتركة (AMDEC ، ABC) ، Noiret) بهدف تركيز الجهود على فشل التشغيل الذي يسبب معظم الآثار السلبية للصيانة و الإنتاج و خاصة الشاحنات. هذه التقنيات و الادوات المستعملة ليست فقط لتحديد العيوب والخلل ولكن توضيح أسبابها الجذرية، واقتراح الإجراءات الوقائية والتصحيحية. سمحت لنا هذه الدراسة بالتأكد على النتائج النظرية وفقا للواقع العملي في المؤسسة باستخدام الطرق و الأدوات المتطورة في الصيانة.

الكلمات الرئيسية : الصيانة الصناعية، الموثوقية MBF، الفشل، إجراءات وقائية وتصحيحية، نموذج

Weibull

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Inter-entreprise.....	8
Figure 1.2 : Organigramme général de l’entreprise.....	8
Figure 1.3 : Organigramme département d’exploitation	9
Figure 1.4 : Ancien atelier.....	10
Figure 1.5 : Engins immobilisés.....	10
Figure 1.6 : Nouvel atelier.....	10
Figure 1.7 : Bureau service de maintenance.....	11
Figure1.8 : Atelier de réparation des équipements.....	11
Figure 1.9 : Bureau service d’achat.....	12
Figure 1.10 : Magasin de l’entreprise.....	12
Figure 1.11 : Atelier de tôlerie.....	12
Figure 1.12 : Atelier de soudage.....	12
Figure 1.13 : Evolution de l’effectif de l’entreprise en fonction du temps.....	13
Figure 1.14 : Logo et produit de l’Inter entrepris.....	15
Figure 1.15 : Logo et produit d’Agro-industrie.....	15
Figure 1.16 : Logo et produit d’Atlas chimie.....	15
Figure 1.17 : Logo et produit d’Agrodeel.....	16
Figure 1.18 : Logo et produit de l’Aquatec.....	16
Figure 1.19 : Logo d’entreprise d’ingénierie de la nutrition animale.....	17
Figure 1.20 : Logo et produit de Canal plast.....	17
Figure 1.21 : Logo et produit d’Arbor Acres Algérie.....	17
Figure 2.1 : Indicateurs qui résultent la disponibilité.....	21
Figure 2.2 : Objectifs de la maintenance.....	22
Figure 2.3 : Fonction de maintenance.....	23
Figure 2.4 : Maintenance corrective.....	24
Figure 2.5 : Intervention préventive.....	25
Figure 2.6 : Courbe en baignoire du taux de défaillance.....	30

Figure 3.1 : Courbes paramétriques de la fiabilité.....	34
Figure 3.2 : Probabilité de réparation au cours du temps.....	35
Figure 3.3 : Cycle de vie d'un système : évolution dans le temps.....	36
Figure 3.4 : Principales propriétés de la distribution de Weibull.....	38
Figure 3.5 : Différents types de l'AMDEC.....	40
Figure 3.6 : Diagramme Ishikawa.....	42
Figure 3.7 : Phases d'une étude MBF.....	46
Figure 4.1 : Parc de l'entreprise.....	50
Figure 4.2 : Représentation par secteur des engins.....	51
Figure 4.3 : Représentation par secteur du parc roulent.....	52
Figure 4.4 : Représentation par secteur de l'état actuel du parc roulent.....	53
Figure 4.5 : SCANIA G360.....	55
Figure 4.6 : BEIBEN V3 1832.....	55
Figure 4.7 : MERCEDES ACTROS 2040S.....	55
Figure 4.8 : MERCEDES ACTROS 2035S.....	55
Figure 4.9 : MERCEDES ACTROS 3331K.....	55
Figure 4.10 : MERCEDES ACTROS 3335K.....	55
Figure 4.11 : Quantité des huiles consommées durant les années 2014,2015 et 2016.....	57
Figure 4.12 : Quantité des filtres consommés durant les années 2014,2015 et 2016.....	58
Figure 4.13 : Temps de réparation durant l'année 2014.....	60
Figure 4.14 : Temps de réparation durant l'année 2015.....	60
Figure 4.15 : Temps de réparation durant l'année 2016.....	61
Figure 4.16 : Courbe de PARETO.....	62
Figure 4.17 : Diagramme de fiabilité.....	64
Figure 4.18 : Diagramme de maintenabilité.....	64
Figure 4.19 : Diagramme de disponibilité.....	65
Figure 4.20 : Courbe ABC.....	67

Figure 4.21 : MERCEDES TR001 AQ.....	68
Figure 4.22 : BEIBEN TR005.....	68
Figure 4.23 : MERCEDES PLB001.....	68
Figure 4.24 : Courbe ABC de MERCEDES TR001 AQ.....	69
Figure 4.25 : Courbe ABC de BEIBEN TR005.....	70
Figure 4.26 : Courbe ABC de MERCEDES PLB001.....	70
Figure 5.1 : Kit de plaquette de frein.....	75
Figure 5.2 : Régleur de timonerie.....	75
Figure 5.3 : Classement des résultats de criticité.....	78
Figure 5.4 : Disque de frein neuf.....	78
Figure 5.5 : Disque de frein en état de travail.....	78
Figure 5.6 : Disque de frein fissuré.....	79
Figure 5.7 : Abaque de Noiret.....	80
Figure 5.8 : Droite de Weibull.....	82
Figure 5.9 : Droite de Weibull (méthode numérique).....	82
Figure 5.10 : Fiabilité estimée et théorique de disque de frein.....	83
Figure 5.11 : Fonction de fiabilité (méthode numérique).....	84
Figure 5.12 : Courbe de répartition estimée et théorique de disque de frein.....	84
Figure 5.13 : Taux de défaillance de disque de frein.....	85
Figure 5.14 : Taux de défaillance (méthode numérique).....	85
Figure 5.15 : La densité de défaillance.....	86
Figure 5.16 : La densité de défaillance (méthode numérique).....	86

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 : Identification de l'entreprise	7
Tableau 1.2 : Principales réalisations de l'entreprise	14
Tableau 2.1 : Types de maintenance	23
Tableau 2.2 : Causes et leurs remèdes des différents modes de défaillance.	30
Tableau 3.1 : Exemple d'AMDEC (moyen de production)	41
Tableau 3.2 : Grille de cotation de la fréquence.	43
Tableau 3.3 : Grille de cotation de la gravité.	43
Tableau 3.4 : Grille de cotation de la détection.....	44
Tableau 3.5 : Critère de criticité.....	44
Tableau 4.1 : Les engins du parc.....	50
Tableau 4.2 : Les équipements du parc roulant.....	51
Tableau 4.3 : Les équipements en arrêt du parc roulant.....	53
Tableau 4.4 : L'état actuel du parc roulent.....	53
Tableau 4.5 : La flotte des camions.....	54
Tableau 4.6 : Code des camions.....	56
Tableau 4.7 : Quantité des huiles consommées durant les années 2014,2015 et 2016	56
Tableau 4.8 : Quantité des filtres consommés durant les années 2014,2015 et 2016	57
Tableau 4.9 : Temps de réparation durant les années 2014,2015 et 2016.....	59
Tableau 4.10 : Analyse du diagramme en bâton de « PARETO ».....	63
Tableau 4.11 : Analyse par ABC	66
Tableau 4.12 : Analyse par ABC de MERCEDES TR001 AQ	69
Tableau 4.13 : Analyse par ABC de BEIBEN TR005	70
Tableau 4.14 : Analyse par ABC de MERCEDES PLB001	71
Tableau 5.1 : Analyse de système freinage de camion MERCEDES TR001 AQ	76
Tableau 5.2 : Analyse de système freinage de camion MERCEDES PLB001	77
Tableau 5.3 : Préparation des données historiques de disque de frein.....	81
Tableau 5.4 : Tableau des résultats.....	83

LISTE DES SYMBOLES

AMDEC	: Analyse des modes de défaillances, de leurs effets et de leur criticité
MTBF	: Moyenne des temps de bon fonctionnement [h]
MBF	: Maintenance basée sur la fiabilité
MTTR	: Moyenne des temps techniques de réparation [h]
MUT	: " Mean up time " (Durée moyenne de fonctionnement après réparation) [h]
UT	: " up time " (Durée de fonctionnement après réparation) [h]
TBF	: Temps de bon fonctionnement [h]
TTR	: Temps technique de réparation [h]
P (T < t)	: Probabilité
$\lambda(t)$: Taux de défaillance en loi de Weibull (Nbr défaillance /h)
λ	: Taux de défaillance en loi exponentielle (Nbr défaillance /h)
$\mu(t)$: Taux de réparation (Nbr réparation/h)
N	: Nombre d'éléments total
F(t)	: Fonction de répartition [%]
N0	: Nombre d'éléments à l'instant (t0)
R(t)	: Fiabilité au temps t [%]
V	: Visite préventive
TA	: Temps d'arrêt
T	: Variable aléatoire [h]
t	: Temps [h]
β	: Paramètre de forme de Weibull
η	: Paramètre d'échelle de Weibull [h]
γ	: Paramètre de position Weibull [h]
f(t)	: Densité de probabilité
G	: Indice de la gravité
F	: Indice de la fréquence
D	: Indice de la détection
C	: Indice de la criticité
QSHE	: Qualité, sécurité, hygiène, environnement
PDG	: Président directeur général
H & M	: Humaine et matériel

SOMMAIRE

	Pages
DÉDICACES	I
REMERCIEMENTS.....	II
RÉSUMÉ.....	IV
LISTE DES FIGURES	VI
LISTE DES TABLEAUX	IX
LISTE DES SYMBOLES.....	X
SOMMAIRE	XI
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
<i>Chapitre 1 : Présentation de l'entreprise Groupe Kherbouche</i>	4
1.1. Introduction	4
1.2. Historique	4
1.3. Activités	4
1.3.1. Ingénierie	4
1.3.1.1. Service ingénierie	5
1.3.1.2. Consultation.....	5
1.3.1.3. Assistance technique.....	5
1.3.1.4. Domaine de compétence.....	5
1.3.2. Contrat	6
1.3.2.1. Hydraulique urbaine	6
1.3.2.2. Ouvrages hydrotechnique	6
1.3.2.3. Génie civil	6
1.3.2.4. Energie	6
1.3.3. Commerce : partenariat industrielle et commerciale.....	6
1.4. Identité	7
1.5. Structure et organisation de l'entreprise	8

1.5.1. Organigramme général de l'entreprise	8
1.5.2. Organigramme du département d'exploitation.....	9
1.5.2. Ancien atelier.....	10
1.5.3. Nouvel atelier	10
1.5.3.1. Service de maintenance	11
1.5.3.2. Service d'achat	11
1.5.3.3. Service de stock et magasin.....	12
1.5.4. Atelier de tôlerie	12
1.5.5. Atelier de soudure.....	12
1.6. Développement.....	13
1.7. Objectif	14
1.8. Généralités sur le groupe Kherbouche	14
1.8.1. Inter-entreprise.....	15
1.8.2. Entreprise Agro-industrie	15
1.8.3. Entreprise Atlas chimie	15
1.8.4. Entreprise Agrodeel.....	16
1.8.5. Entreprise Aquatec biotechnologie.....	16
1.8.6. Entreprise d'ingénierie de la nutrition animale	16
1.8.7. Entreprise Canal plast.....	17
1.8.8. Entreprise Arbor Acres Algérie	17
Conclusion	18
<i>Chapitre 2 : Etude de la maintenance</i>	20
2.1. Introduction	20
2.2. Définitions des concepts	20
2.2.1. Maintenance.....	20

2.2.2. Fiabilité.....	20
2.2.3. Disponibilité	20
2.2.4. Maintenabilité.....	21
2.3. Maintenance des équipements industriels.....	21
2.3.1. Description de la maintenance.....	21
2.3.2. Objectifs de la maintenance.....	22
2.3.3. Activités de la maintenance	22
2.4. Méthodes de la maintenance.....	23
2.4.1. Maintenance corrective.....	24
2.4.2. Maintenance préventive.....	24
2.5. Organisation du service maintenance.....	25
2.5.1. Maintenance centralisée	25
2.5.2. Maintenance décentralisée.....	25
2.6. Opérations de la maintenance	26
2.6.1. Opérations de la maintenance corrective.....	26
2.6.1.1. Dépannage	26
2.6.1.2. Réparation.....	26
2.6.2. Opérations de la maintenance préventive	26
2.6.2.1. Inspections	26
2.6.2.2. Visites	26
2.6.2.3. Contrôles.....	27
2.6.3. Opérations de surveillance.....	27
2.6.4. Autres opérations	27
2.6.5.1. Révision	27
2.6.5.2. Echanges standards.....	27
2.7. Temps de maintenance.....	27
2.7.1. Classification des temps de la maintenance	27

2.7.1.1. Temps machines	27
2.7.1.2. Temps d'activité	28
2.7.2. Nature des durées des interventions de maintenance	28
2.7.2.1. Temps de maintenance corrective	28
2.7.2.2. Temps de maintenance préventive	28
2.8. Importance de la maintenance dans une entreprise.....	28
2.9. Durée de vie.....	29
2.10. Courbe en baignoire	29
2.10.1. Phase de jeunesse.....	29
2.10.2. Phase de maturité.....	29
2.10.3. Phase de vieillesse	29
Conclusion	30
<i>Chapitre 3 : Etude des lois de la fiabilité.....</i>	<i>32</i>
3.1. Introduction	32
3.2. Généralités sur la fiabilité.....	32
3.2.1. Définition de la fiabilité.....	32
3.2.2. Fonction de répartition.....	33
3.2.3. Densité de probabilité	33
3.2.4. Taux de défaillance.....	34
3.3. Paramètres de fiabilité	34
3.3.1. Moyen des temps de bon fonctionnement MTBF (MUT).....	34
3.3.2. Temps moyen pour réparer MTTR.....	35
3.3.3. Moyenne des temps de bon fonctionnement (MTBF).....	35
3.3.4 Relation entre MUT, MTBF et MTTR	36
3.4. Lois de fiabilité.....	36
3.4.1. Loi exponentielle	36
3.4.2. Loi de Weibull	37

3.4.3. Application à la fiabilité	38
3.5. Pratique de l'AMDEC	38
3.5.1. Introduction	38
3.5.2. Définition.....	39
3.5.3. Avantages de la méthode AMDEC	39
3.5.4. Types de l'AMDEC.....	40
3.5.5. Mise au point de la méthode AMDEC	40
3.5.6. Analyse fonctionnelle	41
3.5.6.1. Composants	41
3.5.6.2. Fonctions	41
3.5.7. Analyse de défaillance.....	41
3.5.7.1. Modes de défaillance	41
3.5.7.2. Causes de défaillance.....	41
3.5.7.3. Effets.....	42
3.5.8. Critères.....	42
3.5.8.1 Fréquence (F).....	42
3.5.8.2. Gravité (G).....	43
3.5.8.3. Détection (D)	43
3.5.8.4. Criticité (C).....	44
3.5.9. Actions menées.....	44
3.6. Méthode de l'Abaque de Noiret	45
3.7. Maintenance basée sur la fiabilité (MBF)	45
3.7.1 Principes de la MBF	45
3.7.2 Différentes phases d'une étude MBF	46
3.7.3. Objectifs de la MBF	47
Conclusion	47
<i>Chapitre 4 : Etude critique du parc roulant</i>	<i>49</i>
4.1. Généralité sur le parc de l'entreprise	49

4.1.1. Introduction	49
4.1.1.1 L'exploitation du parc	49
4.1.1.2 la maintenance du parc	49
4.1.1.3 l'assistance technique aux fonctions d'exploitation et maintenance	49
4.1.2. Etat du parc de l'entreprise	50
4.1.2.1. Ensemble d'engins.....	50
4.1.2.2. Parc roulant.....	51
4.1.3. Etude et diagnostique du parc roulant	54
4.1.3.1. Choix des camions.....	54
4.1.3.2. Classification des camions.....	56
4.1.4. Etude de consommation des huiles et des filtres	56
4.1.4.1. Consommation des huiles	56
4.1.4.2. Consommation des filtres	57
4.2. Application	59
4.2.1. Choix du critère : Temps de réparation et nombre d'intervention	59
4.2.2. Le temps de réparation	59
4.2.3. Description de la méthode de PARETO.....	61
4.2.3.1. Définition.....	61
4.2.3.2. Objectif d'utilisation.....	62
4.2.3.3. Méthodologie – Démarche	63
4.2.4 Diagramme en bâton de « PARETO »	63
4.2.4.1. Diagramme de fiabilité	64
4.2.4.2. Diagramme de maintenabilité.....	64
4.2.4.3 Diagramme de disponibilité.....	65
4.2.4.4. Courbe ABC	65
4.3. Etude critique des systèmes	68
4.3.1. MERCEDES TR001 AQ	69
4.3.2. BEIBEN TR005.....	70

4.3.3. MERCEDES PLB001.....	71
Conclusion	72
<i>Chapitre 5 : Application de la fiabilité au niveau du parc roulant</i>	74
5.1. Introduction	74
5.2. Description du système de freinage	74
5.3. Application par AMDEC	75
5.4. Analyse par l’abaque de NOIRET	79
5.5. Application du modèle de Weibull sur le disque de frein	81
5.5.1. Préparations des données historiques	81
5.5.2. Tracé graphique	81
5.5.3. Analyse des résultats	82
Conclusion	87
CONCLUSION GENERALE	88
BIBLIOGRAPHIE	

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'exécution de la maintenance dans l'entreprise industrielle « groupe kherbouche » est d'une importance capitale pour maintenir les équipements en état de bon fonctionnement. La maintenance, dans sa plus large définition, est l'ensemble de toutes les opérations de gestion, de programmation et d'exécution. Le calcul de la fiabilité d'un équipement constitue un outil incontournable pour évaluer l'efficacité et le type de dégradation.

L'application de la maintenance dans l'industrie d'aujourd'hui doit être nécessaire pour augmenter la qualité et la quantité de la production. De plus, la qualité du produit fabriqué est elle-même tributaire du degré de la fiabilité des équipements. Cette approche nécessite la mise en œuvre d'une politique de la maintenance basée sur les méthodes spécifiques d'analyse.

Cette politique vise à comprendre les phénomènes de défaillance ou de dégradation des équipements et d'étudier leur comportement afin de modéliser leur vie selon des lois de probabilité à travers la fiabilité. Pour cela il faut optimiser en permanence des processus avec des recherches continues d'améliorations. L'amélioration de la fiabilité par la gestion de la maintenance dans le domaine de l'industrie se base sur une méthode mathématique de type Pareto avant l'application de l'AMDEC.

Pour mener à bien notre travail qui a été fait au niveau du parc de l'entreprise (groupe Kherbouche), nous avons organisé notre mémoire en cinq (05) chapitres:

- Dans le premier chapitre, on va présenter et analyser l'inter entreprise en termes d'organisation ainsi que ses fonctions, ses départements, ses activités et ses missions.
- Dans le second chapitre, nous montrerons l'importance de la maintenance au sein de l'entreprise, en rappelant son rôle, ses objectifs et ses méthodes.
- Dans le troisième chapitre, nous présenterons la méthode AMDEC avec ses types, et leur méthodologie d'application, ainsi nous introduirons les concepts de fiabilité et un nouvel outil d'analyse qui est la méthode de Noiret, afin de préciser la politique de la maintenance adapté pour l'équipement critique.
- Dans le quatrième chapitre, nous allons étudié et analysé la dégradation des camions du parc à partir des données de l'état de fonctionnement, puis on va terminer par une application les graphes de Pareto et on va analyser et interpréter.

- Finalement au chapitre V on met en application les méthodes décrites dans les chapitres précédents par les outils de fiabilité pour détecter l'équipement le plus critique du parc ; ainsi on fera une optimisation par ces méthodes sur l'équipement déterminé afin de trouver l'organe critique. Pour atteindre cet objectif on développera des modèles récents dans les analyses de la fiabilité pour la détermination du type de la maintenance à appliquer. En dernier lieu on interprète les résultats et on propose des suggestions et des perspectives.

CHAPITRE 1 :
PRÉSENTATION DE L'ENTREPRISE
GROUPE KHERBOUCHE

Chapitre 1 : Présentation de l'entreprise Groupe Kherbouche

1.1. Introduction

Le groupe Kherbouche a été créé en 1976, spécialisé dans l'agro-industrie, l'ingénierie de l'eau et les réalisations hydrauliques, il englobe actuellement huit (8) filiales qui activent sur l'ensemble du territoire national. Ce qui nous intéresse dans ces filiales c'est l'inter-entreprise, le lieu de notre projet de fin des études. Notre séjour au sein de l'entreprise Inter Entreprise du groupe Kherbouche nous a permis de s'adapter à tous les équipements liés au processus des travaux et de leurs maintenances.

1.2. Historique

L'Inter entreprise a depuis quarante ans (40) capitalisé un savoir-faire dans le domaine de l'hydraulique, des travaux publics et du bâtiment. En mettant à profit une synergie du groupe dans l'hydraulique. Elle est spécialisée dans le transfert d'eau, des retenues collinaires, des stations d'épuration, des grandes stations de dessalement, des stations de pompage pour les barrages, ainsi que des études et des réalisations diverses.

Les importantes références d'Inter-entreprise et sa quête permanente de l'excellence dans ce domaine ont permis de réaliser en partenariat avec des entreprises étrangères reconnues par leur qualité à savoir « DEGREMON, BIWATER, CONDOTTE, CULLIGAN, CAPRARI » des projets de grande envergure dans le domaine du dessalement de l'eau de mer et du traitement des eaux usées.

1.3. Activités

L'inter-entreprise est dotée aujourd'hui des moyens et compétences nécessaires en mesure de fournir à ses clients des solutions globales intégrées et d'assurer les missions suivantes, notamment en matière de :

- ✓ L'Ingénierie
- ✓ Du contrat
- ✓ Du commerce

1.3.1. Ingénierie

En matière d'ingénierie, l'inter-entreprise offre à ses partenaires et ses clients un large éventail de service parmi lesquels on trouve les acquis suivants :

1.3.1.1. Service ingénierie

- Etudes des avant projets
- Etudes de faisabilité
- Etudes d'exécution
- Dossier d'appel d'offres

1.3.1.2. Consultation

- Conseils techniques
- Elaboration des cahiers de charges
- Contrôle des études
- Etudes technico-économiques

1.3.1.3. Assistance technique

- Gestion des projets
- Suivi de chantiers
- Assistance à l'installation des équipements

1.3.1.4. Domaine de compétence

- Hydraulique urbaine et industrielle
- Réseaux d'assainissement
- Traitement et épuration des eaux
- Irrigation et drainage
- Stations de pompage
- Conception et génie civil des ouvrages
- Etudes hydrotechniques : barrages, prise d'eau, ouvrages de dérivation
- Aménagements fluviaux
- Diagnostic et réhabilitation des réseaux
- Etudes hydrotechniques (écoulement en surface) et hydro géologiques

(détermination des nappes d'eau)

- Topographie, cartographie des réseaux
- Couverture de photos aériennes
- Etudes, réalisation, rénovation et pose des conduites sans tranchée
- Rabattement et traitement de nappes
- Production des bétons et des préfabriqués

L'entreprise est déterminée à participer de façon efficace au développement durable.

1.3.2. Contrat

En matière de travaux Inter-entreprise on trouve :

- Travaux de terrassements
- Travaux hydrauliques agricoles
- Aménagements de périmètres agricoles
- Réseaux d'irrigation
- Réseaux de drainage

1.3.2.1. Hydraulique urbaine

- Réseaux d'assainissement
- Stations d'épuration monobloc, lagunage et boues activées
- Adduction et distribution d'eau
- Stations de traitement monobloc
- Station de pompage
- Station de déminéralisation des eaux

1.3.2.2. Ouvrages hydrotechnique

- Travaux fluviaux et ouvrage de dérivation
- Rectification et rééquilibrage des cours d'eau

1.3.2.3. Génie civil

- Génie civil spécifique à des stations
- Châteaux d'eau et réservoirs
- Ouvrages d'art
- Construction de gestion immobilière

1.3.2.4. Energie

Le développement des énergies renouvelables : Solaire (photovoltaïques), énergie éolienne, chauffe-eau solaire,... etc.

Energie classique : Groupes électrogènes, armoires électriques, pylônes électriques (haute tension). L'inter-entreprise installe une large gamme de groupe électrogène de différentes marques (CUMMINS, VOLVO, DEUTZ, LEROY SOMER, STAFORD, ABB), de capacités allant de 16 KVA à 1000 KVA.

1.3.3. Commerce : partenariat industrielle et commerciale

Inter-entreprise représente et établit des partenariats avec des grandes marques dans leur domaine de compétence, notamment grâce à des accords privilégiés de distribution exclusive avec des partenaires étrangers et nationaux de façon à garantir, à ses clients, en

permanence une large gamme d'équipement : pompes, transformateurs tous puissances, groupes électrogènes, accessoires d'irrigation, pièces spéciale hydraulique pièces de rechanges, tuyaux en fonte etc....

Inter-entreprise active aussi en étroite collaboration avec des partenaires étrangers spécialisés (sous forme de groupement ou autres) dans la réalisation de certains de ses projets complexes, nécessitant des technologies avancées pour une meilleure performance de ses activités et une recherche permanente de l'amélioration de ses processus.

La synergie du groupe est un vecteur de performance et de progrès.

1.4. Identité

Le tableau 1.1 Représente l'identité de l'Inter-entreprise

Tableau 1.1. Identification de l'entreprise

<i>Entreprise« Inter entreprise »</i>	<i>Industrie et commerce : Kherbouche</i>
<i>Activité principale</i>	<i>Ouvrages hydrauliques, travaux publics et bâtiment</i>
<i>Date de création</i>	<i>1976</i>
<i>Adresse</i>	<i>Zone industrielle Chetouane, desserte N°3, Bloc N°3. 13000 - TLEMCEM.</i>
<i>Téléphone</i>	<i>043 27 40 90 / 043 27 32 54</i>
<i>Mobile</i>	<i>0560 05 93 96</i>
<i>Fax</i>	<i>043 27 87 93</i>
<i>E-mail</i>	<i>inter@groupekherbouche.com</i>
<i>Effectif total de l'entreprise</i>	<i>800 employés</i>
<i>Capital social</i>	<i>205. 000.000 DA</i>

1.5. Structure et organisation de l'entreprise

La structure d'une entreprise définit les relations hiérarchiques et fonctionnelles entre les divers collaborateurs : il s'agit de la répartition des responsabilités et du mode de communication interne à l'entreprise

La figure 1.1 représente l'entrée de l'entreprise



Figure 1.1. Inter-entreprise

1.5.1. Organigramme général de l'entreprise

La figure 1.2 représente l'organigramme des différents départements de l'entreprise.

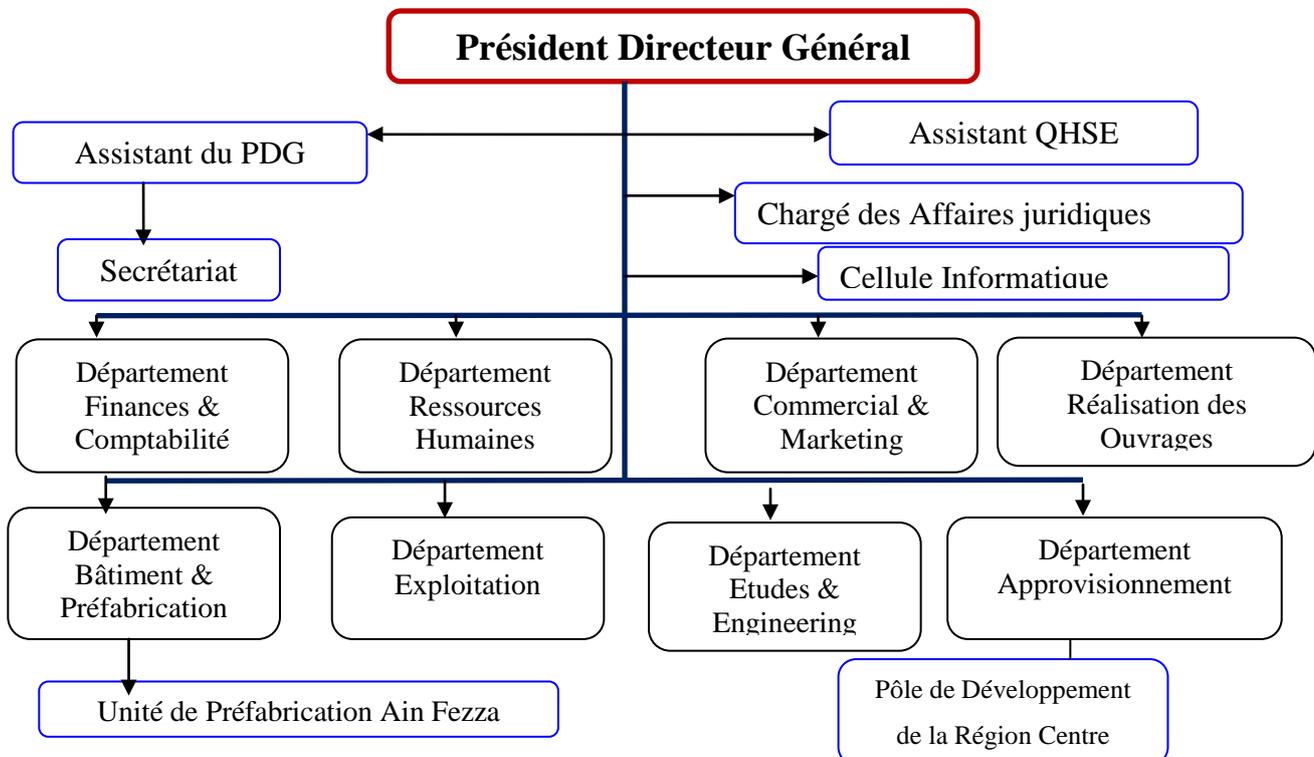


Figure 1.2. Organigramme général de l'entreprise

Inter-entreprise se compose de 8 départements administratifs, mais le travail réalisé dans cette étude est effectué au niveau de département d'exploitation (ou se situe le service de maintenance).

1.5.2. Organigramme du département d'exploitation

La figure 1.3 représente l'organigramme du département de l'exploitation.

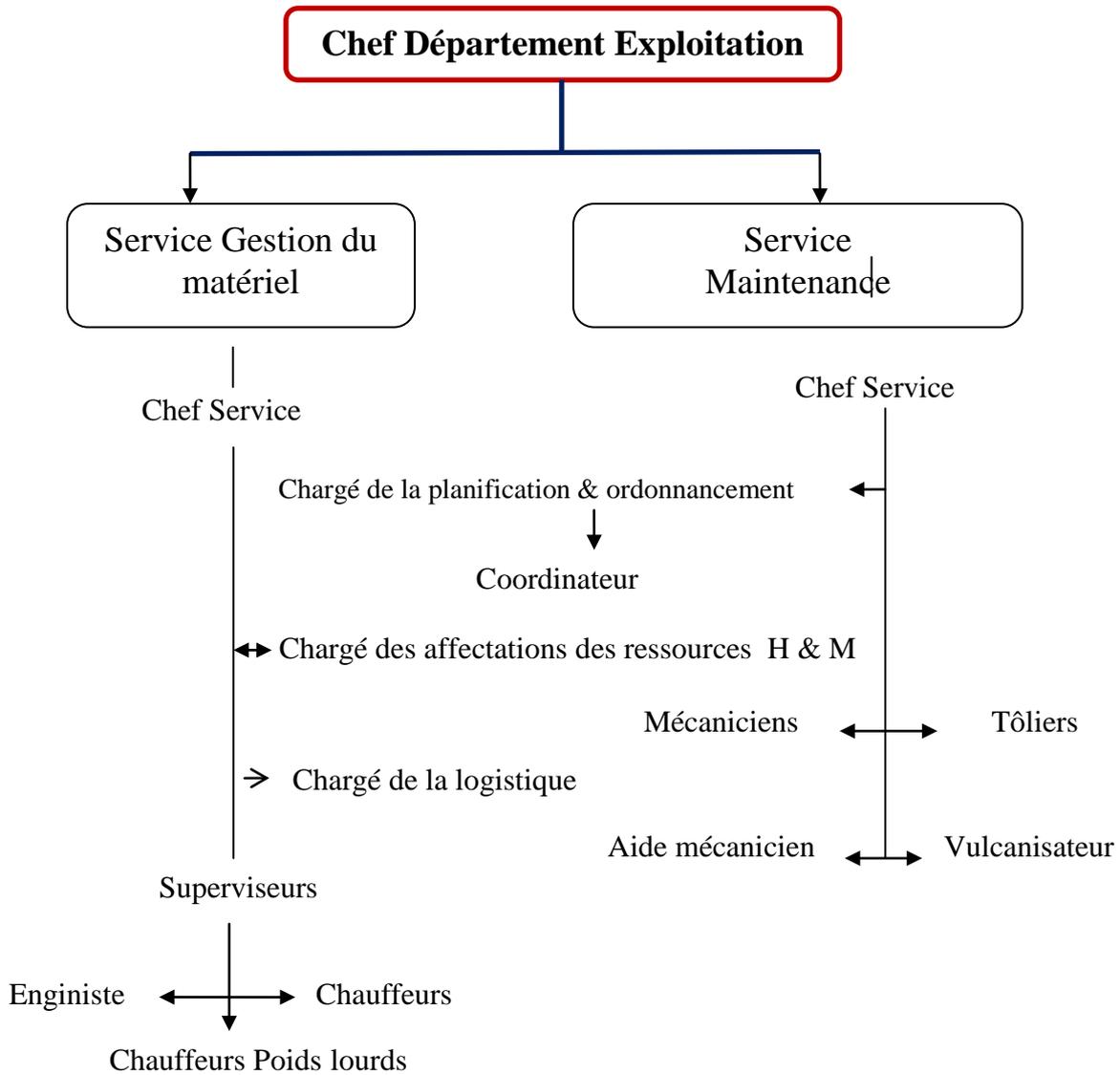


Figure 1.3. Organigramme du département d'exploitation

La structure du service de maintenance où on a réalisé cette étude se subdivise en plusieurs ateliers d'exploitation dans lesquels nous avons passé la période de projet de fin des études. Ces visites respectives des différents ateliers de l'entreprise nous ont permis une meilleure compréhension des multiples étapes intervenant dans les processus de maintenance et d'évaluer la complémentarité de ces différents ateliers afin d'avoir une idée générale des problèmes techniques de toute l'entreprise.

1.5.2. Ancien atelier

Il a été créé pour assurer la maintenance des équipements, actuellement il est conçu principalement pour toutes les opérations de la maintenance systématique à savoir : vidange, graissage, lavage des équipements, changement et la confection des roues. Il réserve aussi une surface pour les équipements en panne ou bien en cour de réparation.

La figure 1.4 et la figure 1.5 représentent l'ancien atelier et son endroit.



Figure 1.4. Ancien atelier



Figure 1.5. Engins immobilisés

1.5.3. Nouvel atelier

Cet atelier est ajouté récemment pour assurer les fonctions suivantes : maintenance et réparations des équipements, service d'achat, stock et magasin.

Il est ajouté aussi dans le but d'élargir l'espace du parc de l'entreprise.

La figure 1.6 représente le nouvel atelier.



Figure 1.6. Nouvel atelier

1.5.3.1. Service de maintenance

Le service a pour but d'assurer le bon fonctionnement des équipements (engins, camions, véhicule utilitaire) en appliquant les fonctions de base suivantes :

- Fonction « maintenance corrective », c'est à dire le dépannage et la réparation des équipements défectueux.
- Fonction « maintenance préventive », c'est à dire la prévention du risque de défaillance.
- Fonction « amélioration des équipements »

La figure 1.7 représente le bureau du service de maintenance.



Figure 1.7. Bureau du service de maintenance

La figure 1.8 représente l'atelier de réparation des équipements.



Figure 1.8. Atelier de réparation des équipements

1.5.3.2. Service d'achat

Les services d'achats sont stratégiques en raison de l'augmentation de la part grandissante du chiffre d'affaire des achats sur le chiffre d'affaire total. La mission du service d'achat c'est acquérir des biens et des services demandés par l'entreprise, et ensuite commercialiser son

service, sa prestation auprès des clients interne. Le rôle du service d'achat est primordial, par ce que, la performance d'achat ne se limite pas à des gains rapides mais à une amélioration continue des processus et de développer le service d'achat afin de créer un avantage concurrentiel durable.

1.5.3.3. Service de stock et magasin

Ce service est désigné à assurer l'existence des pièces de rechange afin de faciliter la fonction maintenance et améliorer le temps de bon fonctionnement de tous les équipements de l'entreprise.

La figure 1.9 représente le bureau de service de maintenance et la figure 1.10 représente le magasin de l'entreprise



Figure 1.9. Bureau du service d'achat



Figure 1.10. Magasin de l'entreprise

1.5.4. Atelier de tôlerie

Il existe pour la mission des travaux de tôlerie des équipements de l'entreprise

1.5.5. Atelier de soudure

Sa fonction est la réalisation des opérations de soudage sur les équipements, principalement, les engins et les camions. Ainsi que la confection des pièces défectueuses en cas de l'indisponibilité de ces derniers, ou bien gagner le temps des interventions de maintenance.

Les figures (1.11) et (1.12) représentent les ateliers de tôlerie et de soudure.



Figure 1.11. Atelier de tôlerie



Figure 1.12. Atelier de soudure

1.6. Développement

Inter entreprise est aussi présente sur tout le territoire national avec un plan de charge très important et diversifié à partir de 2010 en effectuant environ une dizaine de projet de différentes natures.

Aussi dans le domaine des ressources humaines l'entreprise suit une évolution progressive au niveau des effectifs de la société, comptabilisant un effectif de 800 à savoir :

- 48 ingénieurs et Architectes
- 22 cadres financiers et administratifs
- 162 agents de maîtrise
- Plus de 600 ouvriers qualifiés

L'évolution est représentée sur la figure 1.13.

Avec un taux d'encadrements de 6%, et une moyenne d'âge de 35 ans représentés près de 80% de l'effectif total.

La figure 1.13 représente l'évolution de l'effectif de l'entreprise en fonction du temps

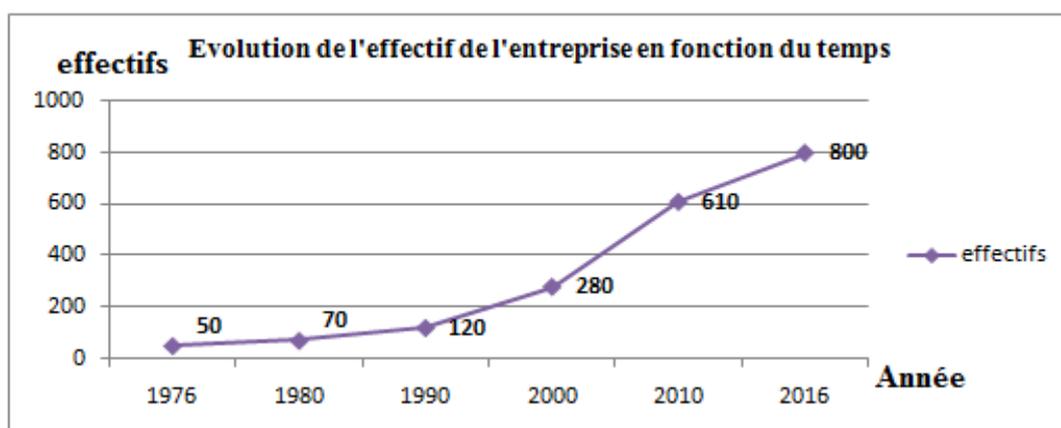


Figure1.13. Evolution de l'effectif de l'entreprise en fonction du temps

Pour mieux répondre aux attentes de ces clients, Inter entreprise a lancé un processus de certification de son système de management de qualité selon la norme ISO 9001 V 2008 qui se sont caractérisée en mois de décembre 2014.

L'entreprise a aussi gagnée plusieurs clients sur le marché algérien durant les années de son création à ce jour.

Le tableau 1.2 représente la liste des clients et les principes travaux réalisé

Tableau 1.2. Liste des clients [22]

<i>Liste des clients</i>	<i>Principales réalisations</i>
- L'Algérienne des eaux ADE	- Station d'épuration
- Direction hydraulique de la wilaya DHW	- Station de déminéralisation
- Direction des travaux publics DTP	- Station de pompage
- Directeurs d'urbanisme et de la construction	- Station de dessalement
DUC	- Station de refoulement
- Office national de l'irrigation et du drainage	- Transfert d'eau potable
ONID	- Traversée de forage (pose tube)
- Société des eaux et de l'assainissement d'alger	- Télégestion
SEAAL	- Système lagunaire des eaux
- la société de l'eau et de l'assainissement d'oran	- Protection des barges des eaux
SEOR	- Protection des barges des oueds

1.7. Objectif

- Recherche permanente de la satisfaction de ses clients.
- Soucieuse de son développement harmonieux par une amélioration continue de tous les processus, l'inter-entreprise en tant qu'entreprise citoyenne tenant compte des impacts sociaux et environnementaux, met à la disposition de ses clients et partenaires d'affaire tout son savoir-faire acquis pendant 40 ans d'expérience dédiées aux domaines de l'hydraulique, du génie civil, d'ouvrages d'art et en mettant à profit la synergie du groupe comme vecteur de performance et de progrès.

1.8. Généralités sur le groupe Kherbouche

Le groupe Kherbouche (ex Sarl) inter-entreprise dont la création était en 1976, il englobe actuellement huit (8) sociétés commerciales pluridisciplinaires, à caractère économique et industriel qui active sur l'ensemble du territoire national.

D'une complémentarité et une interopérabilité avérée, les composantes du groupe, spécialisées chacune dans son domaine ont pu se développer grâce à la vision stratégique adoptée par la direction du groupe et de son sérieux. Elles réalisent des opérations d'envergure parfois très complexe ayant permis l'acquisition diversifiée de grandes expériences et de nouer des relations durables avec des partenaires de renommée internationale et de gagner en même temps la confiance et la fidélité de ses clients. En diversifiant ces activités, le groupe KHERBOUCHE se décompose en :

1.8.1. Inter-entreprise

Elle est active dans le domaine de l'hydraulique, des travaux publics et du bâtiment.

La figure 1.14 représente le logo et le produit de l'Inter entreprise.



Figure 1.14. Logo et produit de l'Inter entreprise

1.8.2. Entreprise Agro-industrie

Créée en 1985, sous forme de SNC (société en nom collectif), Agro industrie s'est durablement installée dans l'équipement agro industriel, à savoir l'ingénierie, la fabrication et la distribution.

La figure 1.15 représente le logo et le produit d'Agro-industrie



Figure 1.15. Logo et produit de Agro-industrie

1.8.3. Entreprise Atlas chimie

Le complexe a été créé en 1987 à la ville de Maghnia, pour la fabrication des huiles alimentaires, des détergents et des produits chimiques comme le savon et la glycérine.

La figure 1.16 représente le logo et le produit d'Atlas chimie.



Figure 1.16. Logo et produit d'Atlas chimie

1.8.4. Entreprise Agrodeel

Agrodeel a été créé en 1999 pour répondre aux besoins sans cesse croissant en pompes centrifuges, aussi bien en agriculture, en industrie et les systèmes d'épuration. La pompe centrifuge reste un composant fondamental. Elle intervient de plus en plus dans le montage et le service après vente, tout en développant ses capacités d'étude. Son objectif final est de garantir une fiabilité prouvée et une technicité maîtrisée.

La figure 1.17 représente le logo et le produit d'Agrodeel.



Figure 1.17. Logo et produit d'Agrodeel

1.8.5. Entreprise Aquatec biotechnologie

Aquatec biotechnologie a été créée en l'an 2000, sa spécialité est d'intervenir activement et efficacement dans les domaines des études, des installations et de l'exploitation des stations de traitement des eaux, aussi bien domestique, professionnelles et industrielles.

La figure 1.18 représente le logo et le produit de l'Aquatec.



Figure 1.18. Logo et produit de l'Aquatec

1.8.6. Entreprise d'ingénierie de la nutrition animale

C'est un complexe intégré dans la fabrication des aliments composés pour animaux, tel que les bovins, les volailles, les ovins et les équins. Il a démarré en fin 2003 avec capacité de 100.000 tonnes/an. Ce complexe est entièrement automatisé afin de répondre aux normes internationales en matière de qualité et de sécurité alimentaires.

La figure 1.19 représente le logo d'entreprise d'ingénierie de la nutrition animale.



Figure 1.19. Logo d'entreprise d'ingénierie de la nutrition animale

1.8.7. Entreprise Canal plast

Canal plast a été créée en 2005, au-delà des résultats de la volonté d'intégration des capacités du groupe dans le domaine de l'hydraulique. Elle est destinée pour la fabrication et la distribution des tubes en PVC et en polyéthylène, des raccords et des accessoires en plastiques adaptés pour réaliser la canalisation pour plusieurs applications.

La figure 1.20 représente le logo et le produit de Canal plast.



Figure 1.20. Logo et produit de Canal plast

1.8.8. Entreprise Arbor Acres Algérie

La Sarl AAA (Arbor Acres Algérie) est située à Tlemcen depuis l'année de 2010 pour la production de poussins reproducteurs de chair.

La figure 1.21 représente le logo et le produit d'Arbor Acres Algérie



Figure 1.21. Logo et produit d'Arbor Acres Algérie

Ses sites sont conformes aux normes internationales de biosécurité et de meilleures technologies, ils offrent la qualité, la performance et le meilleur choix.

Conclusion

Inter entreprise de groupe Kherbouche est un pôle économique important dans la région (plus de cinq cent travailleurs, deux cent cinq millions dinar de capital...). Elle marche à pas solide vers sa modernisation par l'incorporation des nouveaux systèmes à un rendement élevé qui conserve l'énergie, et bien l'investissement dans l'aspect humain par des formations périodique.

CHAPITRE 2 :
ÉTUDE DE LA MAINTENANCE

Chapitre 2 : Etude de la maintenance**2.1. Introduction**

La maintenance est devenue une nécessité dans les entreprises, elle consiste à conserver ou à remettre un équipement en état de bon fonctionnement. Dans ce sens, les entreprises font appel aux services de maintenance pour la bonne marche de l'exploitation de ses équipements. Ces services organisent les moyens humains et matériels pour accomplir leur fonction de maintenance.

Aujourd'hui la maîtrise de la disponibilité des biens, des matériels et des équipements industriels, permet à l'industrie d'agir sur la régularité de la production, sur les coûts de fabrication, sur la compétitivité et sur le succès commercial. Pour vendre plus et mieux, il s'agit non seulement de proposer un meilleur mode de conduite de l'installation mais de garantir à l'exploitant un mode d'intervention rapide, une mise en place de détection et de diagnostic des défaillances, en un mot, il faut assurer une maintenance de qualité permettant d'atteindre la production optimale.

2.2. Définitions des concepts

Il est utile, avant d'aborder l'étude de la maintenance des engins au niveau du groupe « Inter entreprise », de définir les concepts de la maintenance. [1].

2.2.1. Maintenance

Selon la définition de la norme AFNOR X 60-010, la maintenance vise à maintenir ou à rétablir un bien dans un état spécifié afin que celui-ci soit en mesure d'assurer un service déterminé dans un temps déterminé et selon les spécifications fixées. [1].

2.2.2. Fiabilité

Probabilité pour qu'une pièce, un dispositif ou un équipement complet soit utilisé sans défaillance pendant une période de temps déterminée, dans des conditions opérationnelles spécifiées. (La fiabilité s'exprime par une durée qui correspond au lexique MTBF [Mean Time Between Failure]). [1].

2.2.3. Disponibilité

La disponibilité est caractérisée par un indice qui détermine la disponibilité d'un équipement à effectuer son travail dans le temps prévu. On calcule la disponibilité moyenne par l'équation suivante:

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (2.1)$$

La figure 2.1 représente les indicateurs qui résultent la disponibilité.

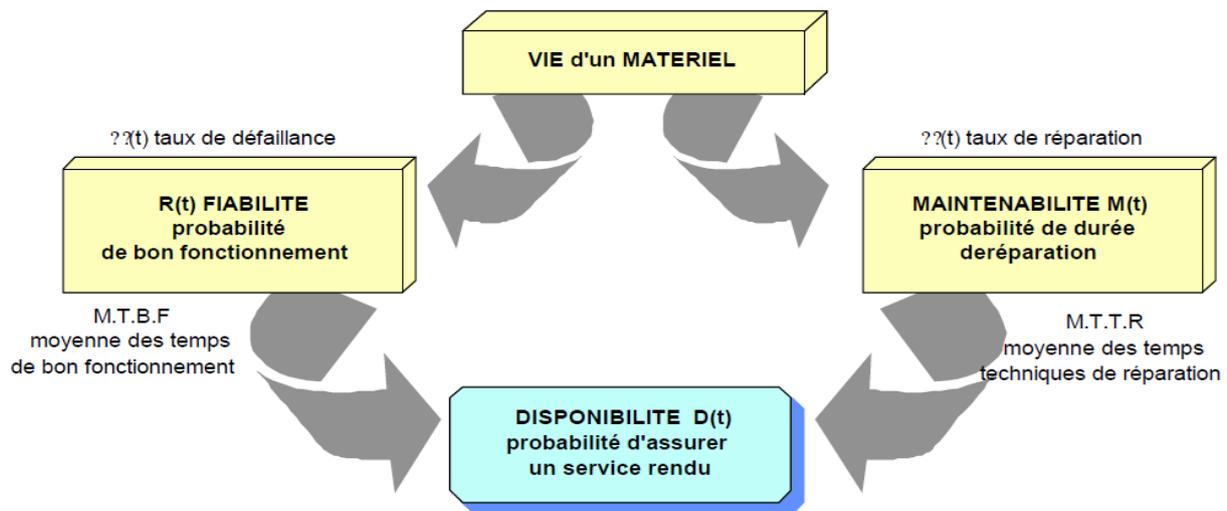


Figure 2.1. Indicateurs qui résultent la disponibilité. [2]

2.2.4. Maintenabilité

La maintenabilité concerne l'action de maintenance comme telle, son indice est la MTTR (Mean Time To Repair).

Par la maintenabilité, on recherche l'optimisation du temps d'intervention afin d'augmenter le temps de production et en diminuant les délais dus aux défaillances suivantes:

- Temps pour l'attente de la pièce de remplacement
- Temps pour préparation des documents
- Temps de préparation de l'action

2.3. Maintenance des équipements industriels

Longtemps, la maintenance été vue comme un mal nécessaire, aujourd'hui elle est devenue une réelle préoccupation dans les entreprises. Elle est perçue comme un processus industriel à part entière et elle est identifiée comme une des activités principales de l'exploitation industrielle. [3]

2.3.1. Description de la maintenance

La maintenance ne consiste pas seulement à réparer ou dépanner au moindre coût ou remettre en état dans les plus brefs délais des équipements. Elle n'est pas non faite pour maintenir les installations en marche à tout prix ou assurer une sécurité de fonctionnement élevée, coûte que coûte, pour atteindre une disponibilité maximale mais non rentable. La maintenance commence dès la conception du matériel. Il faut que l'équipement soit apte à être

entretenu (notion de maintenabilité) et, apte à produire avec une utilisation facile et une sécurité maximale. Pendant toute la durée vie de production, la maintenance surveille le matériel, suit ses dégradations et le remet à niveau avec un contrôle des ses performances avec une surveillance des coûts et une disponibilité. A la fin de vie du matériel, la maintenance analyse d'abord une diminution des ses performances compatibles avec les possibilités de sa dégradation et de son renouvellement.

2.3.2. Objectifs de la maintenance

Les objectifs de la maintenance sont schématisés dans la figure 2.2

- ✓ Assurer la qualité et la quantité des produits fabriqués, tout en respectant les délais.
- ✓ Optimiser les actions de maintenance.
- ✓ Contribuer à la création et le maintien de la sécurité au travail.
- ✓ Consolider la compétitivité de l'entreprise. [4]

La figure 2.2 représente les Objectifs de la maintenance.

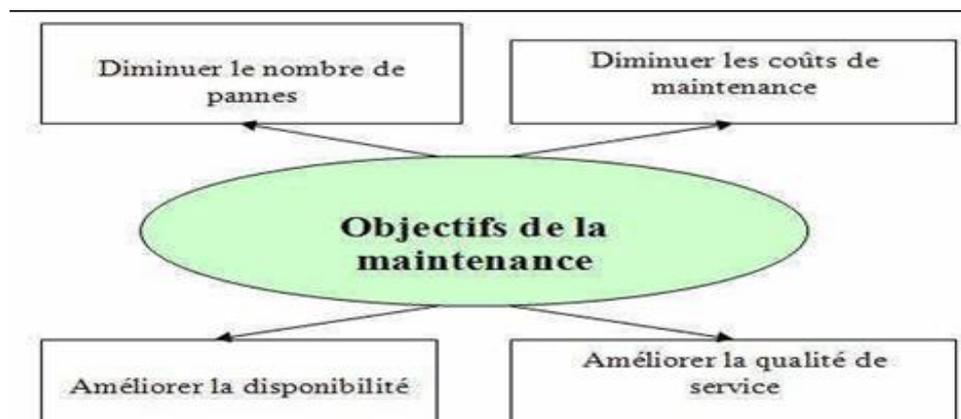


Figure 2.2. Objectifs de la maintenance [4]

2.3.3. Activités de la maintenance

La fonction maintenance peut être présentée comme un ensemble des activités regroupées en deux sous-ensembles: les activités à dominance technique et les activités à dominance de gestion. Ces différentes activités sont représentées dans la figure 2.3.

Un service de maintenance peut également être amené à participer à des études d'amélioration du processus industriel, et doit, comme d'autres services de l'entreprise, prendre en considération de nombreuses contraintes comme la qualité, la sécurité, l'environnement, le coût, etc.

La figure 2.3 représente les activités de la maintenance.

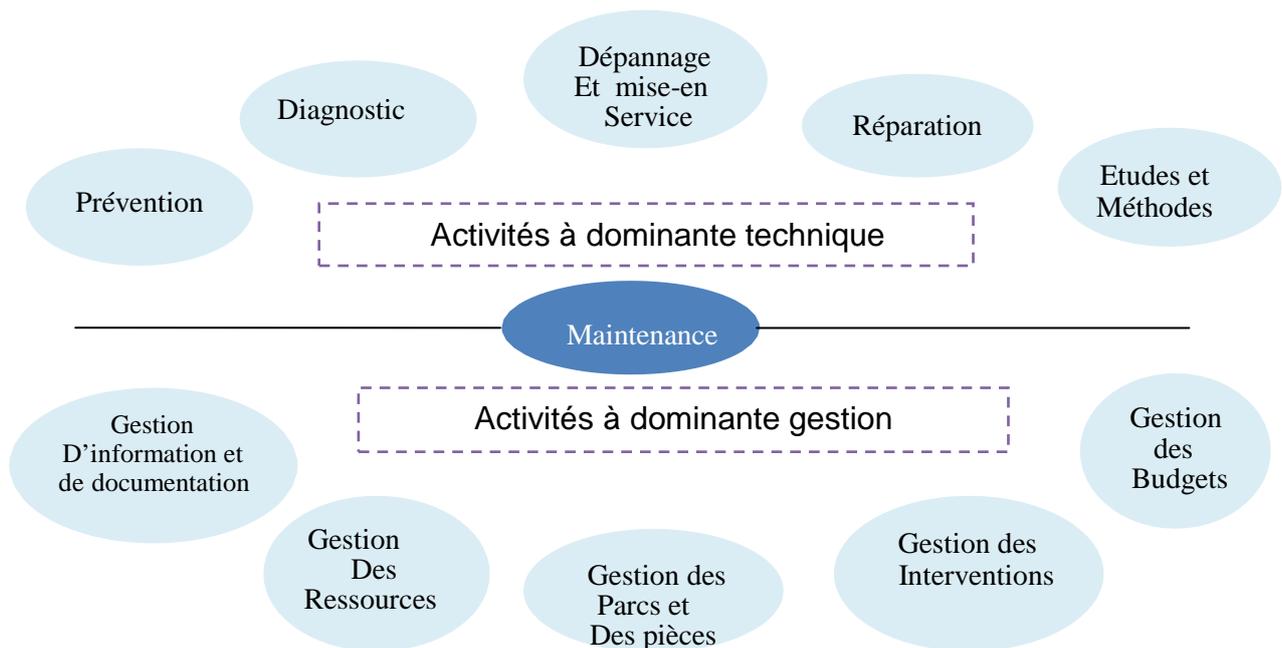


Figure 2.3. Fonction de maintenance [5]

2.4. Méthodes de la maintenance

Le tableau 2.1 montre les différents types de maintenance accessibles à une entreprise.

Tableau 2.1. Types de maintenance

	Types de maintenance				
Type de maintenance	Maintenance corrective		Maintenance préventive		
	Maintenance palliative	Maintenance curative	Maintenance systématique	Maintenance conditionnelle	Maintenance prévisionnelle
Déclencheur	Défaillance	Défaillance	Date/échéance	Franchissement limite ou seuil	Dérive, Tendance
Action de maintenance	Dépannage	Réparation	Remplacements systématiques	Remplacements sous condition	Interventions Ciblées

Le choix entre les méthodes de maintenance s’effectue dans le cadre de la politique de la maintenance au niveau de l’entreprise et doit s’opérer en accord avec sa direction. Ce choix est à la fois technique, social, environnemental et économique. Il doit répondre aux besoins des utilisateurs des équipements.

2.4.1. Maintenance corrective

La maintenance corrective est le type de maintenance qui s'approche le plus à l'entretien traditionnel dans la mesure où, comme son nom l'indique, intervient sur le système après l'apparition d'une défaillance. On peut distinguer deux types de maintenance corrective : la maintenance curative et la maintenance palliative, voir tableau 2.1

La figure 2.4 représente la maintenance corrective.

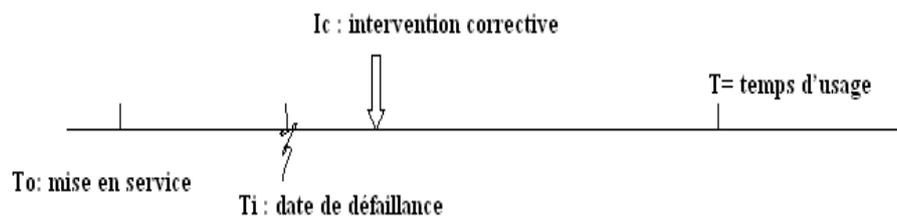


Figure 2.4 Maintenance corrective [6]

2.4.2. Maintenance préventive

C'est principalement le développement de ce type de maintenance qui a entraîné la mutation des services d'entretiens traditionnels. Le mot préventive sous-entend prévenir, l'objectif de ces formes de maintenance est de prévenir la panne avant qu'elle ne survienne. Il en résulte principalement une économie sur les pertes de production mais, aussi une diminution de la dégradation des équipements.

Il existe deux formes principales de la maintenance préventive. La maintenance préventive systématique et la maintenance préventive conditionnelle. On peut ajouter une autre, la maintenance préventive prévisionnelle. [7]

Le but de la maintenance préventive est de :

- augmenter la durée de vie des matériels
- diminuer la probabilité des défaillances en service ;
- diminuer le temps d'arrêt en cas de révision ou de panne ;
- prévenir et prévoir les interventions de la maintenance corrective coûteuse ;
- permettre de décider la maintenance corrective dans de bonnes conditions ;
- éviter les consommations anormales d'énergie, de lubrifiant, etc.;
- diminuer le budget de la maintenance ;
- supprimer les causes d'accidents graves.

La figure 2.5 représente l'intervention préventive.

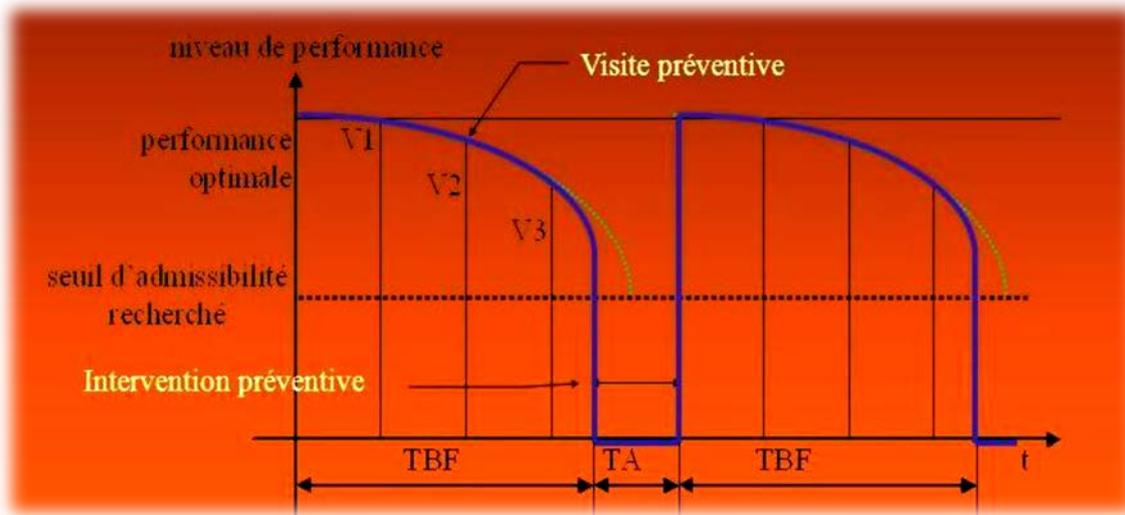


Figure 2.5. Intervention préventive [8]

2.5. Organisation du service maintenance

Deux types d'organisation peuvent être mises en place selon la spécificité et la taille de l'entreprise :

2.5.1. Maintenance centralisée

Ce type d'organisation prévoit la centralisation de toutes les activités de maintenance sous forme d'une seule entité. Cette entité gère la maintenance globale de toute l'entreprise (ateliers et secteurs). Parmi les avantages de ce type d'organisation on peut citer :

- la facilité de planning
- la facilité de surveillance
- des magasins bien équipés
- le contrôle effectif de la main-d'œuvre

2.5.2. Maintenance décentralisée

Chaque secteur d'activité a son atelier sectoriel de maintenance. Comme caractéristiques de ce type d'organisation, on trouve :

- un service rapide
- les connaissances spécialisées
- une prise en charge de chaque installation
- moins de paperasse
- les frais réels de maintenance par poste de travail. [9]

2.6. Opérations de la maintenance

2.6.1. Opérations de la maintenance corrective

2.6.1.1. Dépannage

C'est une action en vue de remettre le matériel en état de fonctionnement. Compte tenu de son objectif, c'est une action de dépannage qui s'accommode avec les résultats provisoires (maintenance palliative) et avec des conditions de réalisation, elle sera suivie de la réparation. Le dépannage n'a pas de conditions d'applications particulières. La connaissance du comportement du matériel et des modes de dégradation sont à la base d'un bon diagnostic et permettent souvent de gagner du temps.

Souvent, les opérations de dépannage sont de courtes durées mais peuvent être nombreuses. De ce fait, les services de maintenance soucieux d'abaisser leurs dépenses tentent d'organiser les actions de dépannage. Certains indicateurs de maintenance prennent en compte le problème du dépannage. Ainsi, le dépannage peut être appliqué par exemple sur des équipements fonctionnant de façon continue dont les impératifs de production interdisent toute visite ou intervention à l'arrêt.

2.6.1.2. Réparation

C'est une intervention définitive et limitée de la maintenance corrective après une panne ou une défaillance. L'application de la réparation peut être décidée soit immédiatement à la suite d'un incident ou d'une défaillance, soit après un dépannage, soit après une visite de maintenance préventive conditionnelle ou systématique.

Remarque : la réparation correspond à une action définitive. L'équipement réparé doit assurer les performances pour lesquelles il a été conçu.

2.6.2. Opérations de la maintenance préventive

2.6.2.1. Inspections

Des activités de surveillance consistant à relever périodiquement les anomalies et exécuter des réglages ne nécessitant pas des outillages spécifiques, ni d'arrêt de l'outil de production ou des équipements.

2.6.2.2. Visites

Des opérations de surveillance qui, dans le cadre de la maintenance préventive systématique, s'opèrent selon une périodicité déterminée. Ces interventions correspondent à une liste des opérations définies préalablement qui peuvent entraîner des démontages des organes et une immobilisation du matériel. Une visite peut entraîner une action de maintenance corrective.

2.6.2.3. Contrôles

Des vérifications de conformité par rapport à des données préétablies et suivies d'un jugement. Le contrôle peut :

- Comporter une activité d'information.
- Inclure une décision : acceptation, rejet, ajournement.
- Les visites sur des opérations de maintenance corrective.

2.6.3. Opérations de surveillance

C'est des contrôles, visites et inspections nécessaires pour maîtriser l'évolution de l'état réel du matériel. Elles sont effectuées de manière continue ou à des intervalles prédéterminés ou non, calculés sur le temps ou le nombre d'unités d'usage.

2.6.4. Autres opérations

2.6.5.1. Révision

Ensemble des actions d'examens, de contrôles et des interventions, effectuées en vue d'assurer le matériel contre toute défaillance majeure ou critique, pendant un temps ou pour un nombre d'unités d'usage donné. Il faut distinguer, suivant l'étendue des opérations à effectuer, les révisions partielles et les révisions générales. Dans les deux cas, cette opération nécessite la dépose des différents sous-ensembles. Le terme révision ne doit en aucun cas être confondu avec les termes visites, contrôles, inspections. Les deux types d'opérations définis (révision générale ou partielle) relèvent du 4^{ème} niveau de maintenance.

2.6.5.2. Echanges standards

Reprise d'une pièce, d'un organe ou d'un sous-ensemble usagé. Ainsi la vente au même client d'une pièce, d'un organe ou d'un sous-ensemble identique, neuf ou remis en état, conformément aux spécifications du constructeur, moyennant le paiement dont le montant est déterminée selon le coût de remise en état.

2.7. Temps de maintenance

2.7.1. Classification des temps de la maintenance

La maintenance a pour devoir de maîtriser à la fois les temps machines (alternances des temps de bon fonctionnement et des temps d'arrêts) et les temps d'activité des techniciens d'intervention.

2.7.1.1. Temps machines

Ils concernent les états successifs caractérisant la disponibilité et la non disponibilité des systèmes. Pour ces temps, des saisies automatiques des dates et des durées, ou des relevés de compteurs associés à des systèmes d'imputation des causes d'arrêts seront nécessaires.

2.7.1.2. Temps d'activité

Comme ces temps relèvent des interventions humaines, ils se posent un problème de saisie délicat. Comme leur connaissance est aussi indispensable que la connaissance des temps machines, un effort d'explication destiné aux techniciens est souvent nécessaire. La maîtrise des temps, résulte de la performance intrinsèque de l'équipement (fiabilité) et de la performance humaine associée aux arrêts (maintenabilité), ce qui va donc permettre de gérer la maintenance d'un équipement à partir des causes d'indisponibilité à l'aide d'indicateurs de maintenance.

2.7.2. Nature des durées des interventions de maintenance

Les temps de maintenance comprennent les temps de la maintenance préventive et les temps de la maintenance corrective. Il sera nécessaire pour améliorer le temps d'une intervention coûteuse ou considérée anormalement longue, d'obtenir une décomposition détaillée du temps comme suit :

2.7.2.1. Temps de maintenance corrective

Parmi les temps actifs de la maintenance corrective on trouve :

- Le temps de localisation de la défaillance.
- Le temps de diagnostic.
- Le temps de dépannage ou de réparation.
- Le temps de contrôle et d'essais finaux.

Parmi les temps annexes de la maintenance corrective on trouve :

- Les temps administratifs (temps de saisie, traitement de documents).
- Les temps logistiques ou durées d'attente des ressources nécessaires à l'exécution de la maintenance.
- Les temps techniques annexes (ex : phase de refroidissement d'un équipement).
- Les temps de préparation du travail (études, méthodes, ordonnancement)

2.7.2.2. Temps de maintenance préventive

- Temps logistiques.
- Temps de préparation.

2.8. Importance de la maintenance dans une entreprise

Longtemps, la maintenance été vue comme un mal nécessaire, aujourd'hui est devenue une réelle préoccupation dans les entreprises. Elle est actuellement prise comme un véritable

enjeu compétitif, tant sur l'assurance des performances de disponibilité des matériels existants qu'en termes de sécurité, de qualité et de coûts. On note aussi la prise en compte des nouvelles préoccupations, telles que les aspects environnementaux par le biais de la réduction des émissions de déchets polluants ou encore le recyclage des systèmes en fin de vie. Aujourd'hui, elle est perçue comme un processus industriel à part entière et comme une des activités principales de l'exploitation industrielle. La politique de maintenance a pour objectif de porter l'outil de production à son meilleur potentiel de disponibilité et à un coût minimal. [10]

2.9. Durée de vie

La durée de vie d'un système est la période qui sépare sa mise en exploitation et l'apparition de sa défaillance. On mesure la durée de vie de l'équipement par le nombre d'heures durant lesquelles il aura effectivement fonctionné. On suppose alors que l'équipement ne peut occuper que l'un des deux états suivants: en bon état ou hors d'usage. [11]

2.10. Courbe en baignoire

La courbe de la figure 2.6 représente le taux de défaillance en fonction de l'âge. On distingue trois périodes.

2.10.1. Phase de jeunesse

La première (I) correspond à la jeunesse de l'équipement. Les défaillances sont dues à des défauts de fabrication ou à des phénomènes à évolution rapide. Le taux de défaillance décroît avec l'âge. Cette période a une durée variable suivant le rodage du produit. Elle s'échelonne entre quelques heures et quelques centaines d'heures.

2.10.2. Phase de maturité

La deuxième (II) présente un taux de défaillance sensiblement constant. Elle correspond à l'apparition de défaillances provenant de causes très diverses. Cette période correspond à la vie utile. Sa durée s'étend de quelques milliers d'heures pour les pièces mécaniques à plusieurs centaines de milliers d'heures pour les composants électroniques.

2.10.3. Phase de vieillesse

La dernière (III) est caractérisée par un taux de défaillance croissant. Elle correspond à l'accroissement des défaillances due à l'usure ou à la fatigue (fin de vie).

La figure 2.6 représente la courbe en baignoire du taux de défaillance.

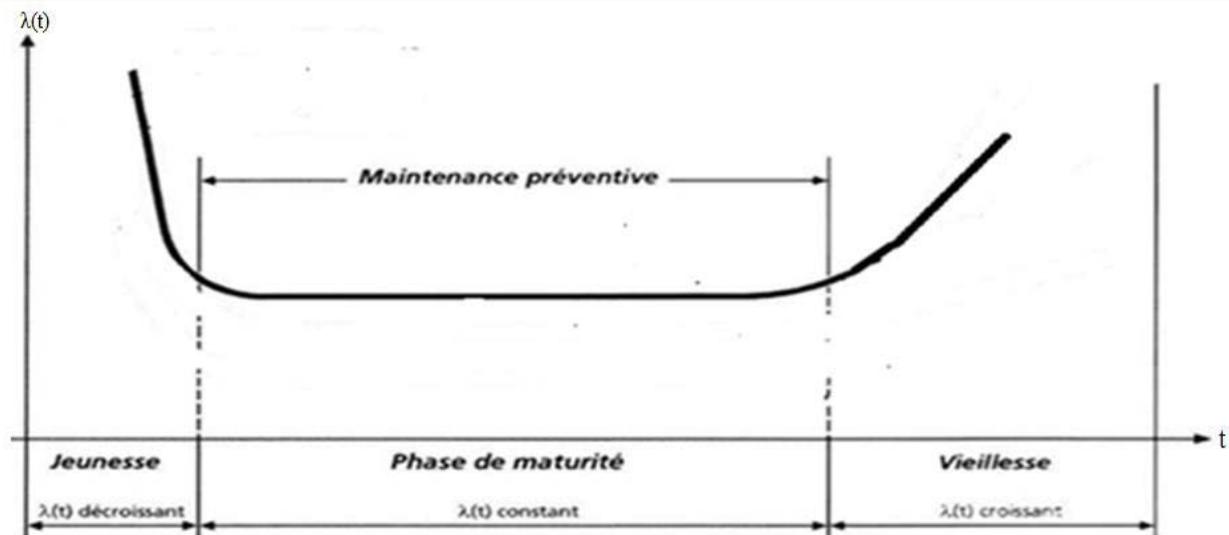


Figure 2.6. Courbe en baignoire du taux de défaillance [12]

Le tableau 2.2 représente les causes et les remèdes des différents modes de défaillance.

Tableau 2.2. Causes et remèdes des différents modes de défaillance [12]

	Cause	Remèdes
Période de jeunesse	Défauts de fabrication, d'assemblage,	Tests de validation, vérification
Période de maturité	Environnement, erreur humaine, charges aléatoires,	Redondance et amélioration de la résistance
Période de vieillissement	Fatigue, corrosion frottements, charges cycliques	Réduction du taux de panne Maintenance préventive Remplacement préventif

Conclusion

La maintenance est une fonction complexe qui, selon le type du processus, peut être déterminante pour la réussite d'une entreprise. Les fonctions qui la composent et les actions qui la réalisent doivent être soigneusement analysées pour que les performances globales de l'outil de production soient optimisées.

Actualisez régulièrement la fonction « Maintenance » c'est dresser un panorama complet de cette activité au niveau de ses aspects techniques (méthodes et outils) et au niveau de ses enjeux en matière de gestion humaine (sélection et performance).

CHAPITRE 3 :

ÉTUDE DES LOIS DE LA FIABILITÉ

Chapitre 3 : Etude des lois de la fiabilité**3.1. Introduction**

L'évolution des techniques de production vers une plus grande robotisation des systèmes techniques plus complexes a augmenté l'importance de la fiabilité des machines de production. Un arrêt coûte très cher à une entreprise, il faut pour cela penser à une méthode de gestion de la maintenance de façon plus efficace. De même, dans le domaine des engins, les problèmes de la fiabilité, de la maintenabilité et de la disponibilité sont capitaux.

La fiabilité d'un système est son aptitude à ne pas connaître de défaillance. Une meilleure fiabilité réduit les aléas de fonctionnement. La fonction MTBF (Mean time between failure) est l'indice de référence pour évaluer la fiabilité. Dans la réalité, les choses sont beaucoup moins simples. En effet, il faudrait disposer de l'inventaire complet des défaillances, autrement dit, que tous les temps de fonctionnement soient représentatifs de la population. Cela ne peut pas être le cas à cause de la complexité des équipements. Un système connaît trois périodes (jeunesse, maturité, vieillissement) et peut avoir des modifications, des transformations, des remises à neuf...etc.

En plus, à l'instant de l'évaluation de la fiabilité d'un système, bien que son comportement global soit connu, il est impossible d'estimer à l'avance et avec certitude la phase de sa vie.

- La mesure de la fiabilité est donc une estimation moins simple.
- La difficulté sera encore plus grande dans le cas de l'évaluation de la disponibilité.

3.2. Généralités sur la fiabilité**3.2.1. Définition de la fiabilité**

Fiabilité est l'aptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise dans des conditions données pour une période de temps donnée.

- $R(t_i)$: fonction de fiabilité
- N_0 : Nombre d'éléments bons à t_0
- N_i : Nombre d'éléments bons à t_i
- n_i : Nombre d'éléments défaillants entre t_i et $t_{(i+1)}$, noté aussi ΔN_i

$$R(t_i) = N_i / N_0 \quad (3.1)$$

Supposons que nous observions le comportement d'un dispositif (matériel, équipement, composant,...) en fonctionnement. Nous introduisons la variable aléatoire T qui représente le temps écoulé depuis la mise en service du dispositif à l'instant $t = 0$ jusqu'à l'instant de sa première défaillance. La variable aléatoire T représente donc la durée de vie du dispositif ou de manière équivalente, l'instant de sa défaillance. La fonction de fiabilité est définie par :

$$R(t) = P(T \geq t), t \geq 0 \quad (3.2)$$

Pour un temps t fixé, cela représente la probabilité de bon fonctionnement du dispositif étudié sur l'intervalle de temps $[0, t]$. La fiabilité est donc une fonction du temps, encore appelée fonction de survie. [13]

3.2.2. Fonction de répartition

La fonction de répartition de la variable aléatoire T est définie par :

$$F(t) = P(T < t) = 1 - R(t) \quad (3.3)$$

Pour un t fixé, elle représente la probabilité de défaillance à un instant quelconque précédant l'instant t .

Par définition, nous avons $F(t) = 0$ pour $t < 0$.

3.2.3. Densité de probabilité

La densité de probabilité est une fonction $f(t) \geq 0$ telle que pour tout $t \geq 0$

$$F(t) = \int_0^t f(u) du \quad (3.4)$$

En admettant que la fonction de répartition a une dérivée au point t , nous pouvons écrire :

$$f(t) = -F'(t) = -\frac{d}{dt} \int_0^t f(u) du = -f(t) \quad (3.5)$$

Il en résulte que :

$$f(t) = -\frac{dR(t)}{dt} \quad (3.6)$$

On calcule approximativement la densité de probabilité pour l'intervalle de durée de vie s'étendant de t_{i-1} à t_i

$$f(t) = f(t_{i-1} < t < t_i) = \frac{R(t_{i-1}) - R(t_i)}{t_i - t_{i-1}} \quad (3.7)$$

Soit en désignant par $N(t_i)$ le nombre de survivants pour une durée de vie t_i par :

$$f(t) = \frac{1}{N_0} \frac{N(t_{i-1}) - N(t_i)}{t_i - t_{i-1}} \quad (3.8)$$

la figure 3.1 représente les courbes paramétriques de la fiabilité.

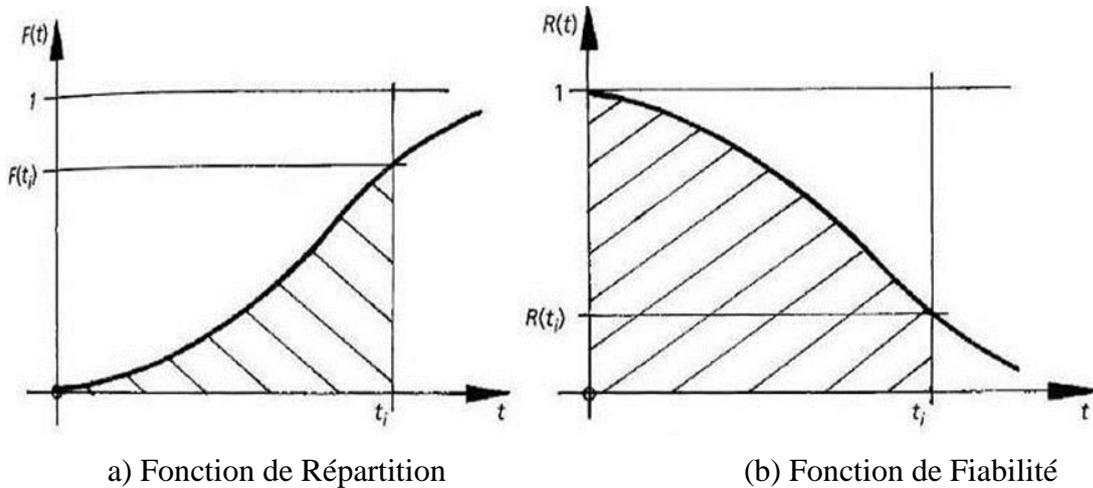


Figure 3.1. Courbes paramétriques de la fiabilité [14].

3.2.4. Taux de défaillance

Prenons maintenant une pièce ayant servi pendant une durée t et encore survivante. La probabilité qu'elle tombe en panne entre l'âge T et l'âge $T + dt$ est représentée par la probabilité conditionnelle qu'elle tombe en panne entre T et $T + dt$, sachant qu'elle a survécu jusqu'à T . d'après le théorème des probabilités conditionnelles, cette probabilité est représentée par :

$$\lambda(t)dt = \frac{F(t+dt) - F(t)}{R(t)} = \frac{dF(t)}{1 - F(t)} \quad (3.9)$$

$\lambda(t)$: taux de défaillance de la pièce à l'âge t

Nous avons donc :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (3.10)$$

3.3. Paramètres de fiabilité

3.3.1. Moyen des temps de bon fonctionnement MTBF (MUT)

Le temps moyen jusqu'à défaillance (ou moyenne des temps de bon fonctionnement) est :

$$MUT = \frac{\Sigma \text{ temps de bon fonctionnement}}{\text{nombre d'intervalles de temps de bon fonctionnement}} \quad (3.11)$$

$$MUT = \int_0^{+\infty} R(t) dt \quad (3.12)$$

3.3.2. Temps moyen pour réparer MTTR

Exprime la moyenne des temps de tâches de réparation. Il est calculé en additionnant les temps de maintenance ainsi que les temps annexes de détection et de préparation, le tout divisé par le nombre d'interventions [20]

$$MTTR = \frac{\text{Temps d'arrêt total}}{\text{nombre d'arrêt}} \quad (3.13)$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \quad (3.14)$$

La probabilité de réparation d'un composant est principalement en fonction du temps écoulé depuis l'instant de défaillance. Il existe un certain délai t avant que le composant ne puisse être réparé. Ce délai t comprend le temps de détection et le temps d'attente de l'équipe de réparation. Il s'y ajoute le temps de réparation proprement dit. Figure 3.1 donne l'allure de la probabilité de réparation d'un composant tombé en panne en $t=0$.

La figure 3.2 représente la probabilité de réparation au cours du temps.

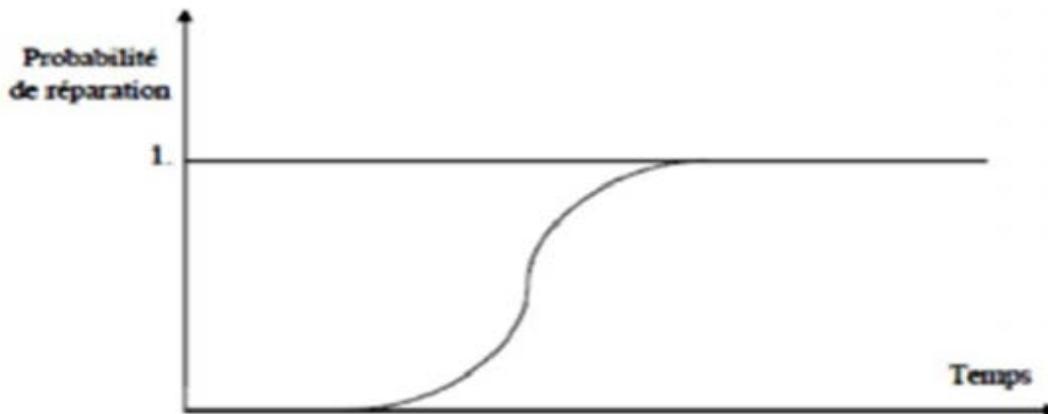


Figure 3.2. Probabilité de réparation au cours du temps [15]

3.3.3. Moyenne des temps de bon fonctionnement (MTBF)

C'est le temps qui sépare deux défaillances consécutives. Le MTBF est la moyenne sur un ensemble d'entités « identiques » et sur leurs durées de vie.

$$MTBF = \frac{\text{temps total de fonctionnement pour l'ensemble des produit}}{\text{nombre total de défaillance}} \quad (3.15)$$

Elle est appelée espérance mathématique des défaillances.

$$MTBF = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) dt \quad (3.16)$$

Nous pouvons aussi montrer qu'elle est représentée par :

$$MTBF = \int_{-\infty}^{+\infty} R(t) dt \quad (3.17)$$

3.3.4 Relation entre MUT, MTBF et MTTR

En général, on utilise les sigles suivants : MTBF, MTTR et MUT, avec le risque évoqué au début du paragraphe. On peut proposer les expressions suivantes pour utiliser exactement les mêmes notions de désignation :

On a:
$$MTBF = MUT + MTTR \quad (3.18)$$

La figure 3.3 représente le cycle de vie d'un système: évolution dans le temps

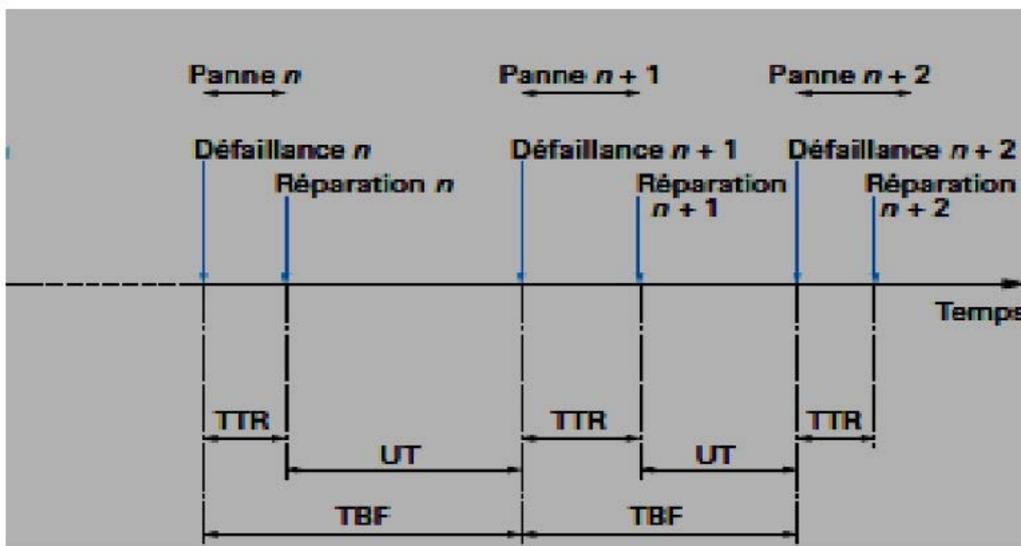


Figure 3.3. Cycle de vie d'un système: évolution dans le temps [15]

3.4. Lois de fiabilité

Nous présentons dans ce paragraphe les lois de fiabilité les plus couramment utilisées

3.4.1. Loi exponentielle

C'est une loi qui ne dépend que d'un seul paramètre (le taux de défaillance λ) ; elle s'applique d'une manière générale aux matériels qui subissent des défaillances brutales, ou à des systèmes complexes composés de plusieurs éléments dont les lois de fiabilité élémentaires sont différentes. Durant la vie utile le taux de défaillance λ est constant.

- La fiabilité est définie par : $R(t) = \exp(-\lambda t)$ (3.19)

- Densité de probabilité : $f(t) = \lambda \exp(-\lambda t)$ (3.20)

- Fonction de répartition : $F(t) = 1 - \exp(-\lambda t)$ (3.21)

3.4.2. Loi de Weibull

La loi de Weibull est utilisée en fiabilité, en particulier dans le domaine de la mécanique. Cette loi a l'avantage d'être très souple et de pouvoir s'ajuster à différents cas de dégradation.

La loi de Weibull est une loi continue à trois paramètres :

- Le paramètre de position (γ) qui représente le décalage pouvant exister entre le début de l'observation (date à laquelle on commence à observer un échantillon) et le début du processus que l'on observe (date à laquelle s'est manifesté pour la première fois le processus observé).

- Le paramètre d'échelle (η) qui, comme son nom l'indique, nous renseigne sur l'étendue de la distribution.

- Le paramètre de forme (β) qui est associé à la cinétique du processus observé.

- Densité de probabilité :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp\left(-\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta} \quad (3.22)$$

- Fiabilité :

$$R(t) = \exp\left(-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}\right) \quad (3.23)$$

- Fonction de répartition :

$$F(t) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}\right) \quad (3.24)$$

- Taux de défaillance :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (3.25)$$

La figure 3.4 représente les principales propriétés de la distribution de Weibull.

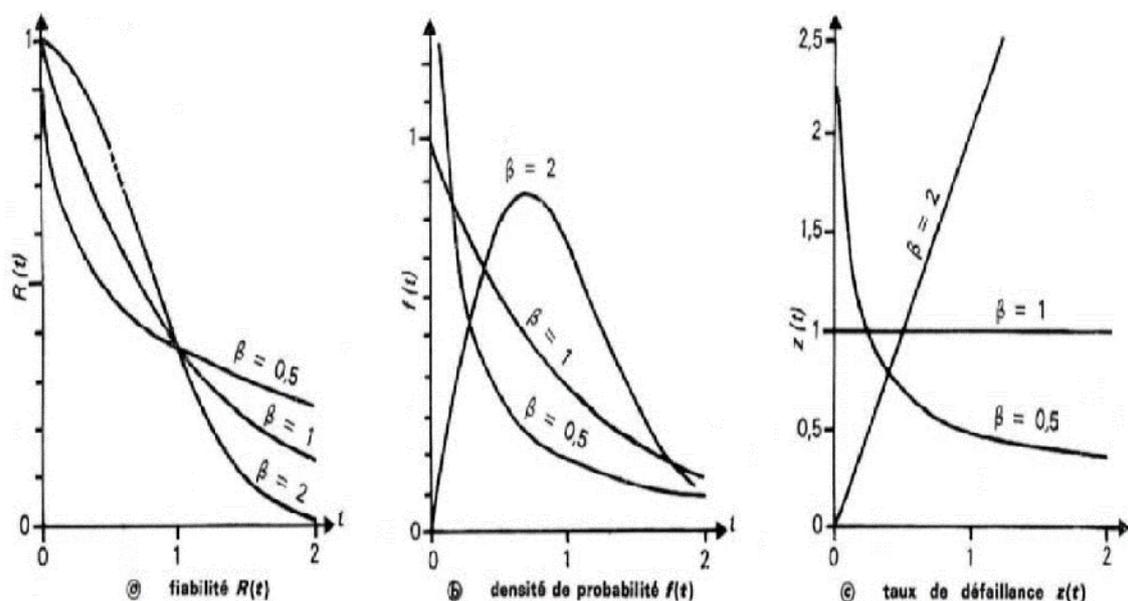


Figure 3.4. Principales propriétés de la distribution de Weibull [15]

3.4.3. Application à la fiabilité

Suivant les valeurs de β ; le taux de défaillance est soit :

- décroissant ($\beta < 1$)
- constant ($\beta = 1$)
- croissant ($\beta > 1$)

La distribution de Weibull permet donc de représenter les trois périodes de la vie d'un dispositif (jeunesse, maturité et vieillissement)

3.5. Pratique de l'AMDEC

3.5.1. Introduction

L'AMDEC est une méthode de diagnostic qui occupe une place importante dans l'optimisation de la fonction maintenance. En effet, elle rend le système fiable tout en faisant diminuer le nombre des pannes, facilement maintenable car elle permet la maîtrise des éléments et de leurs fonctions disponibles. Elle permet d'agir sur les éléments critiques, car elle permet de dominer les défaillances et en particulier les défaillances critiques et catastrophiques.

3.5.2. Définition

La méthode AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et de leur Criticité) permet une analyse préventive de la sûreté de fonctionnement des produits et des équipements. Ce principe de la prévention repose sur le recensement systématique et l'évaluation des risques potentiels d'erreurs susceptibles de se produire à toutes les phases de la réalisation d'un produit. C'est une méthode précieuse qui permet à l'entreprise de valider, tout au long de la construction du produit, sa qualité et sa fiabilité :

- Elle identifie les modes de défaillance des composants, et évalue les effets sur l'ensemble des fonctions.
- Elle évalue l'impact ou la criticité des modes de défaillances sur la sûreté de fonctionnement.
- En phase de conception, elle est associée à l'analyse fonctionnelle, pour la recherche des modes de défaillances spécifiques à chaque fonction des composants.
- Dans le cas d'analyse sur des procédures ou chaînes de fabrication, elle permet de localiser les opérations pouvant conduire à élaborer un produit ne respectant pas le cahier des charges, ce qui permettra par la suite de limiter les rebuts.
- Elle est appliquée à un groupe de travail pluridisciplinaire, elle est recommandée pour la résolution de problèmes mineurs dont on veut identifier les causes et les effets.

3.5.3. Avantages de la méthode AMDEC

La méthode AMDEC confronte les connaissances de tous les secteurs d'activité de l'organisation pour obtenir dans un ordre que nous avons cherché à rendre significatif les résultats suivants.

- La satisfaction du client est l'objectif majeur de l'AMDEC, un objectif contre lequel personne ne peut aujourd'hui s'élever. S'il n'y avait que ce seul argument en faveur de l'AMDEC, il devrait suffire à la rendre indispensable dans nos organisations.
- Le pilotage de l'amélioration continue par la gestion. L'élaboration et la gestion de ces plans seront, avec les mises à jour régulières de l'AMDEC, des moyens majeurs de pour l'amélioration continue.
- Contrairement à ce que certains prétendent, l'AMDEC vous aide à réduire les coûts d'obtention de la qualité, à condition de travailler aussi dans le cadre de l'AMDEC procédé, sur la réduction des rebuts et des retouches : c'est un des objectifs majeurs de la méthode.

• Un des objectifs majeurs de l'AMDEC se traduira par la mise en place des mesures préventives, voire par l'élaboration des plans d'actions pour l'élimination des causes des défaillances.

3.5.4. Types de l'AMDEC

Il existe globalement trois (03) types d'AMDEC suivant que le système analysé est :

- Le produit fabriqué;
- Le processus de fabrication du produit;
- Le moyen de production intervenant dans la production du produit.

La figure 3.5 représente les différents types de l'AMDEC.

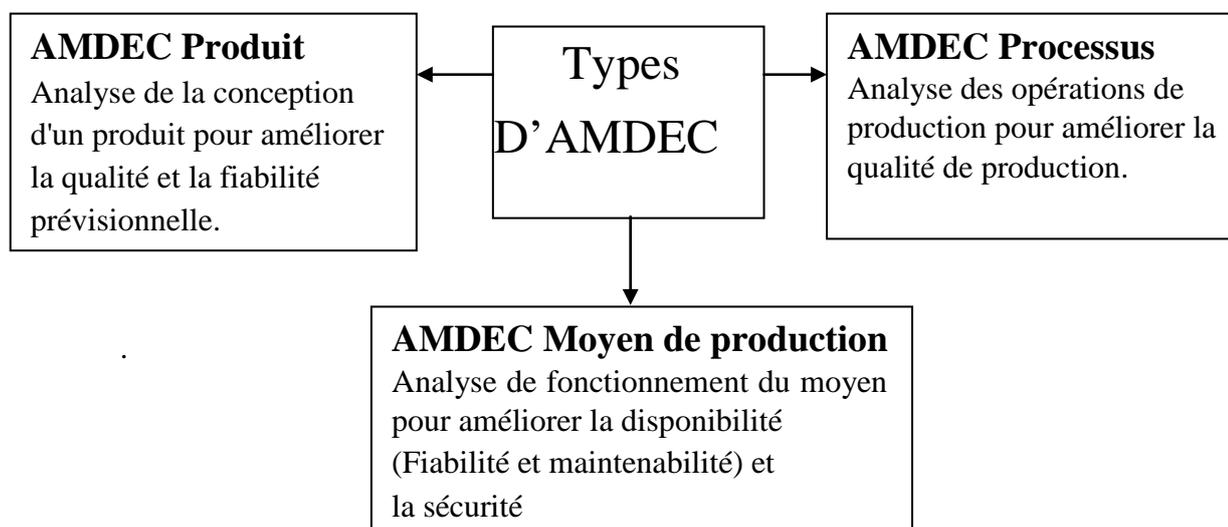


Figure 3.5. Différents types de l'AMDEC [17]

On peut effectuer :

- Une AMDEC Produit, pour vérifier le produit et la conformité d'un produit développé par rapport aux exigences du client,
- Une AMDEC Processus pour valider la fiabilité du processus de fabrication,
- Une AMDEC Moyen de production pour vérifier la fiabilité d'un équipement.

3.5.5. Mise au point de la méthode AMDEC

Sur un tableau, il faut définir les « lignes » et les « colonnes » nécessaires à la méthode AMDEC réparties en quatre grandes familles :

- Analyse fonctionnelle
- Analyse des défaillances potentielles
- Estimation de la criticité
- Mesures à appliquer.

Le tableau 3.1 représente l'exemple d'AMDEC (moyen de production).

Tableau 3.1. Exemple d'AMDEC (moyen de production) [18]

Analyse Fonctionnelle		Analyse de défaillance				Estimation de criticité			Mesures		
Composant		Fonction	Mode de défaillance	Causes	Effet local	Effet système	Gravité	Occurrence	Non détection	Criticité (indice)	Mesures envisagées
Nom	Rep										

3.5.6. Analyse fonctionnelle

3.5.6.1. Composants

Dans la première colonne figurent tout les organes composant le système, un composant est, pour un système simple, un élément intègre non dissociable.

3.5.6.2. Fonctions

Les fonctions d'un composant sont des actions souvent discrètes par rapport au système complet, mais elles permettent la réalisation de la fonction globale. Un composant peut avoir plusieurs fonctions.

3.5.7. Analyse de défaillance

AMDEC a pour but premier de déceler les défaillances probables ou les points faibles. Il est donc naturel que les événements soient davantage précisés. Ainsi, considérerons qu'une défaillance se caractérise par son mode d'apparition, sa cause et ses effets sur le système, ainsi que sur les autres composants.

3.5.7.1. Modes de défaillance

La norme (NF X60-510), est relative à la procédure de l'analyse des modes fonctionnement et de leurs effets. Les modes de défaillance sont étroitement liés à l'environnement et aux conditions de fonctionnement.

3.5.7.2. Causes de défaillance

La recherche des causes de défaillance peut être facilitée par l'emploi de la méthode connue dite les cinq (5M) (méthode Ishikawa ou causes-effets). Cette méthode montre qu'une cause d'anomalie peut être très éloignée de l'organe dans le temps et dans. Les (5M) peuvent être remplacés par d'autres typologies voir figure 3.7

La figure 3.6 représente le diagramme Ishikawa.

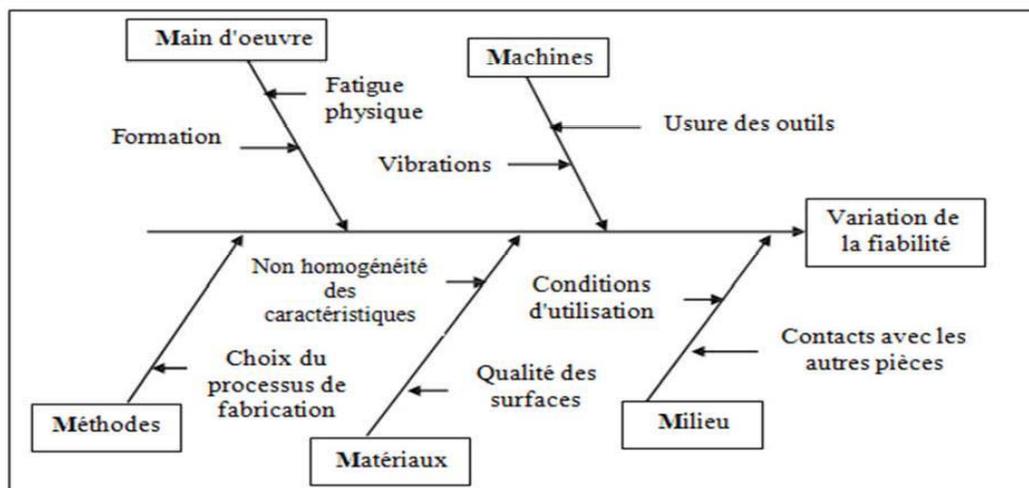


Figure 3.6. Diagramme Ishikawa [18]

3.5.7.3. Effets

Il est important, pour la précision de l'AMDEC, de répartir les effets d'une défaillance selon deux catégories :

- Les effets sur le système : Ils sont les conséquences directes du dysfonctionnement sur l'ensemble du dispositif. Contrairement aux moyens de détection, qui ne sont pas toujours perceptibles.
- Les effets locaux : Logiquement et évidemment ces cas se rencontrent lorsque l'on n'a pas pu les détecter plus tôt.

3.5.8. Critères

La définition de ces critères doit être absolument rigoureuse pour ne laisser aucune place à l'interprétation afin que quiconque les utilise de manière identique. Généralement, chaque critère reçoit un indice sur une échelle qui varie de 1 à 4 en fonction de son importance. Les défaillances au niveau de chaque sous-ensemble sont cotées suivant les valeurs des critères définis dans la grille de cotation

3.5.8.1 Fréquence (F)

Relatif à la fréquence d'apparition de la défaillance, cette fréquence exprime la probabilité combinée d'apparition du mode de défaillance par l'apparition de la cause de la défaillance. La fréquence F allant de un (1) jusqu'au quatre (4).

Le tableau 3.2 représente la grille de cotation de la fréquence.

Tableau 3.2. Grille de cotation de la fréquence. [18]

Niveau	Valeur	Definition
très faible	1	défaillance rare : moins d'une défaillance par année
Faible	2	défaillance possible : moins d'une défaillance par trimestre
Moyen	3	défaillance occasionnelle : moins d'une défaillance par semaine
Elevé	4	défaillance fréquente : plus d'une défaillance par semaine

3.5.8.2. Gravité (G)

Relatif aux conséquences provoquées par l'apparition du mode de défaillance en termes des indices suivants :

- Qualité des pièces produites.
- Sécurité des hommes ou des biens.

Temps d'intervention qui correspond au temps actif de maintenance corrective (diagnostic+réparation ou échange+remise en service).

Le tableau 3.3 représente la grille de cotation de la gravité.

Tableau 3.3. Grille de cotation de la gravité. [18]

<u>Niveau</u>	<u>Valeur</u>	<u>Définition</u>
Mineure	1	-arrêt de production : moins de 15 minutes -aucune ou peu pièce de rechange nécessaire
Moyenne	2	-arrêt de production : de 15 minutes à une heure -pièces en stock
Majeure	3	-arrêt de production : 1 heure à 2 heures -pièces en stock ou livraison ultra-rapide
Grave	4	-arrêt de production : 2 heures et plus -long délai de livraison

3.5.8.3. Détection (D)

Elle est relative à la possibilité de détecter la défaillance avant qu'elle ne se produise.

Le tableau 3.4 représente la grille de cotation de la détection.

Tableau 3.4. Grille de cotation de la détection. [18]

<u>Niveau</u>	<u>Valeur</u>	<u>Définition</u>
Evident	1	détection certaine, sirène, moyens automatiques, signes évidents
Possible	2	déTECTABLE par l'opérateur, par des méthodes d'inspections, vibrations
Improbable	3	difficilement détectable, moyens complexes (démontages, appareils)
Impossible	4	indétectable, aucun signe

3.5.8.4. Criticité (C)

C'est un critère qui met l'équipement en situation critique.

Le tableau 3.5 représente la critère de criticité.

Tableau 3.5. Critère de criticité [18]

Niveau	Définition
$C < 9$	Faible : Aucun problème particulier. Surveillance habituelle.
$9 < C < 25$	Acceptable : Nécessite une surveillance particulière et/ou une révision de la politique de maintenance.
$C > 25$	Forte : Surveillance accrue. Remise en cause de la maintenance. Eventuellement, arrêt pour amélioration.

3.5.9. Actions menées

La finalité de l'analyse AMDEC, après la mise en évidence des défaillances critiques, elle définit des actions de nature à traiter le problème identifié.

Les actions sont de trois (03) types :

- **Actions préventives** : on agit pour prévenir la défaillance avant qu'elle ne se produise et pour l'empêcher de se produire. La période d'application d'une action résulte de l'évaluation de la fréquence.

- **Actions correctives** : lorsque le problème n'est pas considéré comme critique, on agit au moment où il se présente. L'action doit alors être la plus courte possible pour une remise aux normes de façon rapide.

- **Actions améliorative** : il s'agit en général des modifications du procédé ou de la modification technologique du moyen de production, destinées à faire disparaître totalement le problème. Le coût de ce type d'action n'est pas négligeable et on le traite comme un investissement. Les actions, pour être efficaces, doivent faire l'objet d'un suivi :

- Plan d'action
- Désignation d'un responsable de l'action [19]

3.6. Méthode de l'Abaque de Noiret

L'abaque de Noiret est un outil de calcul scientifique qui permet d'orienter le choix de la politique de maintenance en fonction :

- des caractéristiques de l'équipement
- de son utilisation

Le résultat est une recommandation offrant trois options possibles :

- Maintenance corrective
- Zone incertaine
- Maintenance préventive

Cependant, ce résultat doit être complété par une analyse économique portant sur le coût de maintenance et sur le retour de l'investissement estimé qui peut préconiser une maintenance préventive. Il ne s'agit que d'un outil d'aide à la décision et non pas d'un outil de décision.

Chaque critère se décline en plusieurs options correspond chacune à un certain nombre de points [20].

3.7. Maintenance basée sur la fiabilité (MBF)

Parmi les outils ou les méthodes qu'elle utilise, on trouve (AMDEC) mode de défaillances de leurs effets et de leur criticité. Cette technique apporte une connaissance approfondie de fonctionnement et des interactions d'un système, par l'analyse systématique des relations causes-effets. Elle occupe une place importante dans l'optimisation de la fonction maintenance.

Aujourd'hui, l'intérêt économique de la fonction maintenance réside dans l'anticipation des anomalies potentielles, plus que dans les actions correctives, voire la maîtrise du processus de production. [21]

3.7.1 Principes de la MBF

- Estimer la criticité des équipements à travers une échelle de classement.
- Déterminer pour chaque équipement les défaillances dont les conséquences sont les plus préjudiciables.

- Etudier les actions de maintenance préventive à travers un arbre de décision.
- Simuler le plan de maintenance préventive issu des études et évaluer sa justification technico-économique.

3.7.2 Différentes phases d'une étude MBF

Une étude de fiabilité est basée sur les phases suivantes :

La figure 3.7 représente les phases d'une étude MBF.

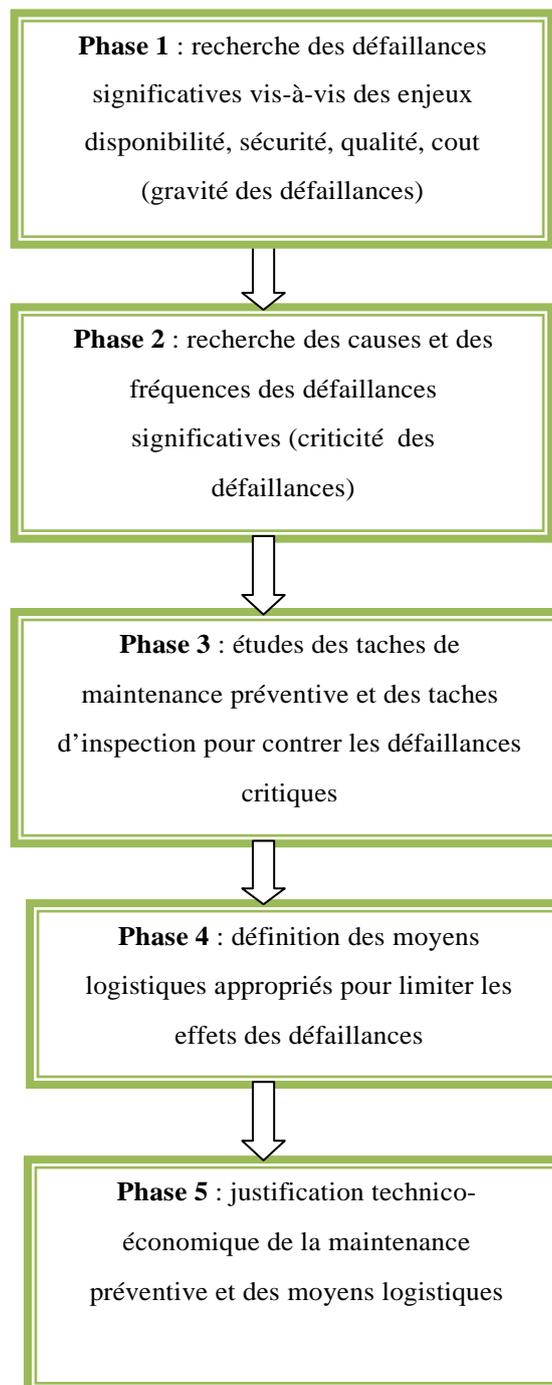


Figure 3.7. Phases d'une étude MBF [21]

3.7.3. Objectifs de la MBF

L'objectif principal est d'améliorer la disponibilité des équipements sélectionnés comme critiques par leur influence sur la sécurité, sur la qualité et, par leur impact sur les flux de production. Améliorer la disponibilité implique la réduction des défaillances techniques par la mise en place d'un plan préventif, mais aussi la réduction des durées des pertes de production par une nouvelle répartition des tâches entre la production et la maintenance.

Les autres objectifs recherchés sont :

- La maîtrise des coûts par l'optimisation du plan de maintenance préventive, en faisant porter l'effort de prévention « au bon endroit et au bon moment », donc par élimination de tâches préventives constatées improductives.
- La mise en œuvre d'une démarche structurée par analyse systématique de chaque mode de défaillance qui permet de justifier les décisions prises.
- La mise en œuvre d'une démarche participative au niveau des groupes de travail MBF ou au niveau des tâches réparties entre production et maintenance.
- La rapidité des résultats associés à une faible perturbation de l'organisation. [21]

Conclusion

Dans ce chapitre on a vu les différents aspects de la maintenance et l'importance de l'étude de la fiabilité sur la sûreté de fonctionnement des équipements. On applique les lois de probabilité utilisées en fiabilité qui permettent l'optimisation des périodes d'interventions systématiques et en diminuant le coût de la maintenance préventive avec une évaluation exacte des MTBF et des MTTR d'un équipement selon l'indice de l'indisponibilité.

CHAPITRE 4 :
ETUDE CRITIQUE DU PARC ROULANT

Chapitre 4 : Etude critique du parc roulant

Dans ce chapitre nous allons présenter une étude statistique par l'utilisation d'un outil numérique dans le but de déceler les systèmes les plus défaillants et d'analyser les différents pannes au niveau du parc en vue pour trouver les solutions adéquates. Des histogrammes ont été établis pour une présentation plus claire et plus explicite des résultats obtenus suite à l'analyse des organes défaillants.

4.1. Généralité sur le parc de l'entreprise

4.1.1. Introduction

Le parc de l'entreprise est un parc qui comporte un ensemble d'engins et un parc roulant. La direction du parc a pour mission de la prise en charge de toutes les travaux différents de l'entreprise et tout qui concerne le parc roulant et les engins.

Pour assurer cette mission la direction est organisée autour de trois (03) fonctions suivantes :

- L'exploitation du parc
- La maintenance du parc (parc roulant et engins)
- L'assistance technique aux fonctions d'exploitation et maintenance

4.1.1.1 L'exploitation du parc

- Le transport des produits et de matériels logistiques des chantiers et des bases.
- Les différents travaux de terrassements et levage...etc.

4.1.1.2 la maintenance du parc

- la maintenance curative des équipements
- la maintenance systématique des équipements

4.1.1.3 l'assistance technique aux fonctions d'exploitation et maintenance

- l'élaboration et la révision du plan de maintenance
- la gestion du parc
- l'optimisation des équipements du parc

Afin de donner un aperçu global sur le parc, j'ai essayé de prendre plusieurs photos par différentes positions et les mettre en une seule figure.

La figure 1.1 représenté le parc de l'entreprise.



Figure 4.1. Parc de l'entreprise

4.1.2. Etat du parc de l'entreprise

Dans cette partie, On va étudier l'état actuel de parc de l'entreprise pour définir le nombre des équipements et ainsi, déterminer le pourcentage des arrêts par catégorie

4.1.2.1. Ensemble d'engins

Le tableau 4.1 représente la classification des engins du parc :

Tableau 4.1. Les engins du parc

Catégorie	Equipement	Nombre
Terrassement	Pelle chenille	13
	Rétro chargeur	9
	Chargeur	8
	Compacteur	6
	Bulldozer	2
	Niveleuse	1
	Camion dumper	1
	Mini compacteur	1
	Mini pelle	1
Levage	Grue mobile	9
	Camion grue	3

	Grue à tour	1
	Grue fixe	1
	Tracteur agricole	12
Totale d'engins		68

La figure 4.2 représente les différentes catégories des engins.

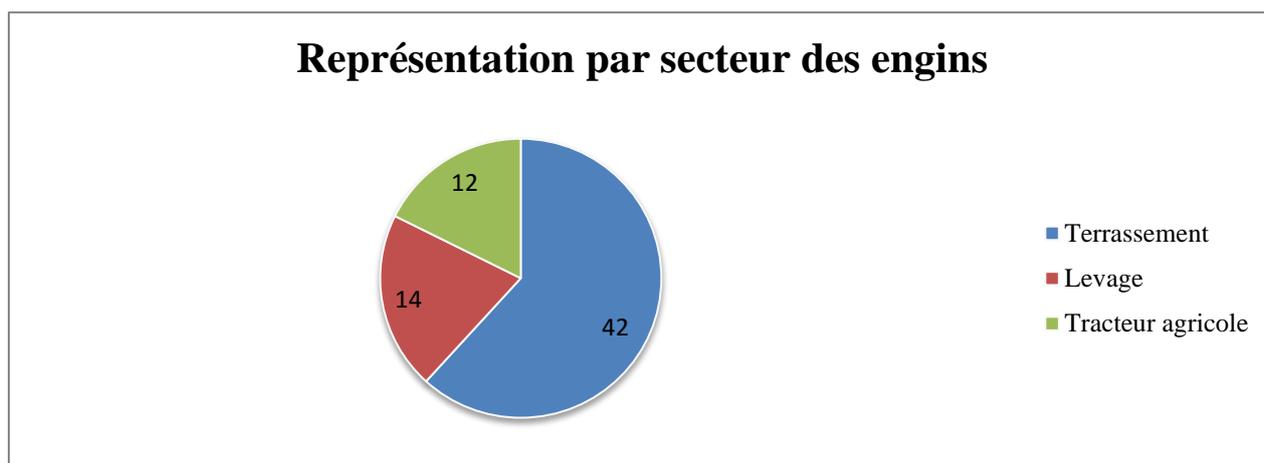


Figure 4.2. Représentation par secteur des engins

4.1.2.2. Parc roulant

Le parc roulant ou parc automobile est constitué de l'ensemble des véhicules utilisé pour le transport .Il se compose du parc automobiles particuliers et du parc des véhicules utilitaires (Camionnettes, camions, etc.).

Le tableau 4.2 représente la classification des équipements du parc roulant :

Tableau 4.2. Les équipements du parc roulant

Catégorie	Equipement	Nombre
Poids Lourds	Tracteur routier	23
	Camion benne	24
	Camion malaxeur	12
	Camion plateau	7
	Camion citerne	1
	Pompe à béton	5

Poids Légers	Berline	92
	Utilitaire	75
	SUV	7
	Fourgonnette	1
	Ambulance	1
	Motocycle	1
Remorques	Plateaux	15
	Citernes	10
	Citerne et réservoir	8
	Benne	7
	Remorques agricoles	4
	Porte engin	3
	Cocotte ciment	2
	Remorque dortoire	1
	Porte véhicule léger	1
Totale du Parc Roulant	300	

La figure 4.3 représente les différentes catégories des équipements du parc roulant.

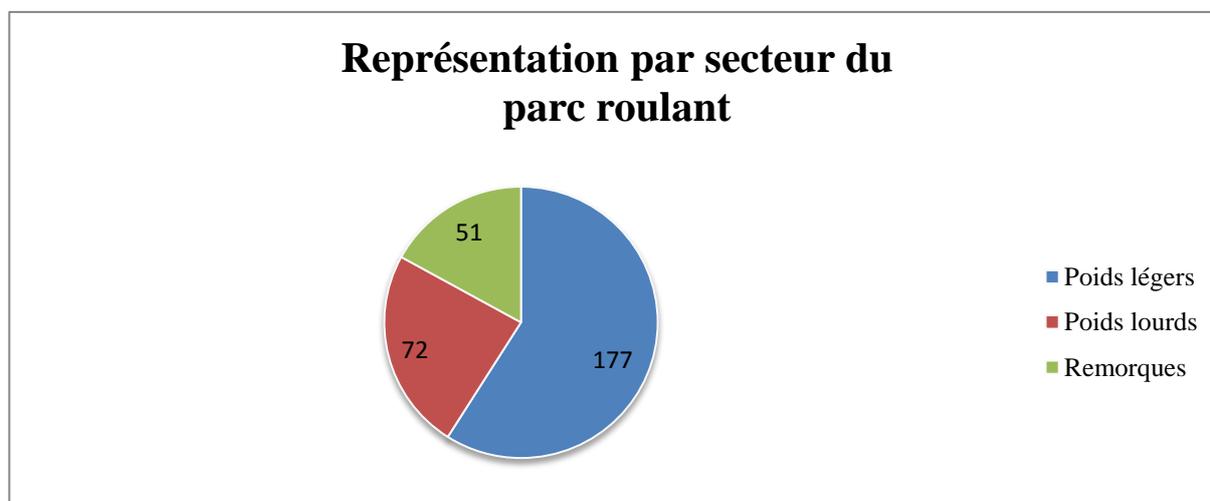


Figure 4.3. Représentation par secteur du parc roulant.

La majorité de parc roulant sont des équipements de "Poids Léger" avec 177 équipements. Les deux tableaux suivants 4.3 et 4.4 représentent le nombre des équipements en arrêt et le pourcentage par rapport au nombre global.

Tableau 4.3. Les équipements en arrêt du parc roulant

Le tableau 4.3 représente les équipements en arrêt du parc roulant.

Catégorie	Equipement		Nombre
Poids Lourds	Tracteur routier	YEUJIN	4
		BEIBEN	2
	Camion benne	MERCEDES ACTROS 15T	3
	Camion plateau	IVECO Dépannage	1
Poids Légers	Berline		5

Le tableau 4.4 représente l'état actuel du parc roulant.

Tableau 4.4. Etat actuel du parc roulant

Catégorie	En arrêt		En marche	
	nombre	Pourcentage	nombre	Pourcentage
Poids Lourds	10	14%	62	86%
Poids Légers	5	3%	172	95%
Remorques	0	0%	51	100%
Totale	15	5%	285	95%

La figure 4.4 représente l'état actuel du parc roulant.

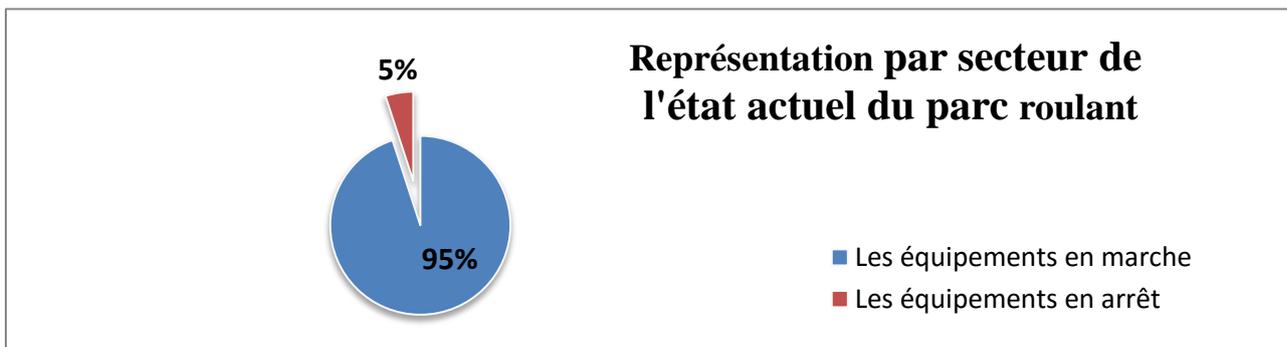


Figure 4.4. Représentation par secteur de l'état actuel du parc roulant.

On remarque que le nombre des camions en arrêt est égale à quinze (15), ce qui représente 5% du nombre total des camions. Cette valeur est faible à cause des efforts de toute l'équipe de la maintenance au niveau d'entreprise Kherbouche.

4.1.3. Etude et diagnostique du parc roulant

Cette étude a été portée sur huit (8) camions de marque différente. Les données sont relevées du système de gestion de la maintenance appartenant au service de maintenance de l'entreprise, qui représente l'intervention sur les camions soit pour un changement ou une confection de la pièce défectueuse. On a travaillé sur une période de trois (3) ans (de 01 janvier 2014 au 31 décembre 2016).

4.1.3.1. Choix des camions

A l'aide du responsable de la maintenance au niveau de parc de l'entreprise on a choisi huit (8) camions de catégorie et de fonctionnalité différentes, afin d'améliorer la façon de la prise des données, le tableau 4.5 représente la flotte des camions :

Tableau 4.5. Flotte des camions

N°	Désignation de Camion	Marque	Modèle	N° de série	Année	N° d'immatriculation	Catégorie
1	TR008	SCANIA	G360 LA4x2 HSZ	9182780	2015	00003-515-13	Tracteur Routier
2	TR009	SCANIA	G360 LA4x2 HSZ	9182788	2015	00004-515-13	Tracteur Routier
3	TR005	BEIBEN	LBZ436BBO	BA032935	2012	00026-512-13	Tracteur Routier
4	TR007	BEIBEN	LBZ436BB7	BA032933	2012	00021-512-13	Tracteur Routier
5	TR001 AQ	MERCEDES	ACTROS 2040S	L208365	2008	6-508-13	Tracteur Routier
6	TR002ACH	MERCEDES	ACTROS 2035S	L339659	2008	39-508-13	Tracteur Routier
7	PLB001	MERCEDES	ACTROS 3331K	K851383	2004	00029-204-31	Camion Benne
8	PLB003AQ	MERCEDES	A3335KN36M	K567451	2002	46-202-46	Camion Benne

Les figures suivantes représentent les échantillons sélectionnés des camions pour notre étude de figure 4.5 jusqu'à 4.10 :



Figure 4.5. SCANIA G360



Figure 4.6. BEIBEN V3 1832



Figure 4.7. MERCEDES ACTROS 2040S



Figure 4.8. MERCEDES ACTROS 2035S



Figure 4.9. MERCEDES ACTROS 3331K



Figure 4.10. MERCEDES ACTROS 3335K

4.1.3.2. Classification des camions

Pour faciliter notre travail, on a préféré de créer un code qui constitué la marque et la désignation de chaque camion. Le tableau 4.6 représente la classification des codes :

Tableau 4.6. Code des camions

N°	Code de camion
1	SCANIA TR008
2	SCANIA TR009
3	BEIBEN TR005
4	BEIBEN TR007
5	MERCEDES TR001 AQ
6	MERCEDES TR002ACH
7	MERCEDES PLB001
8	MERCEDES PLB003AQ

4.1.4. Etude de consommation des huiles et des filtres

Dans cette phase nous avons fait un diagnostique d'entretien où on a préféré de faire une étude spécifique sur les huiles et les filtres consommés par les camions pendant ces trois (3) années précédentes pour voir quelle type d'huiles et filtres est le plus consommés.

4.1.4.1. Consommation des huiles

Le tableau 4.7 représenté les données des huiles consommées.

Tableau 4.7.Quantité des huiles consommées durant les années 2014,2015 et 2016

Huiles	Quantité (par litre)
Huile totale 7400-15w40	1036.5
Huile 15W40 0.901.0010.1/1 SDF	290
Huile TRANS 80W90 TM	143
Huile 10W	21
Huile atf G3	12
CHELLA DOT 4	6
Huile CHELIA SAE 10W	4
Huile rubia S40	4
Huile rubia S10	3

La figure 4.11 représente la quantité des différents d'huiles consommées par huit (8) camions durant la période de 2014 à 2016.

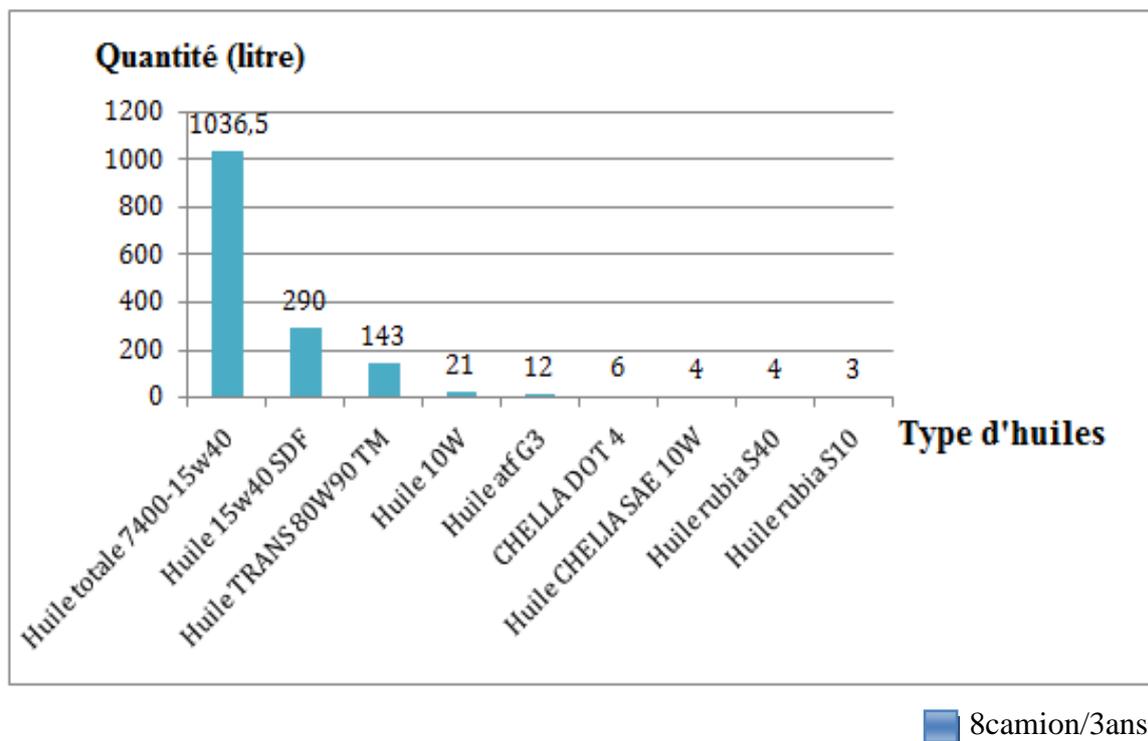


Figure 4.11. Quantité des huiles consommées durant les années 2014,2015 et 2016

Interprétation

On remarque que le type d'huile le plus consommée c'est l'huile total 7400-15W40, elle est spécifique pour les moteurs, car les camions déplacent beaucoup en trajet et c'est la même chose que l'huile 15W40 SDF. Alors que l'huile de boîte de transmission TRANS 80W90 TM vient en troisième place parmi les huiles les plus utilisées.

4.1.4.2. Consommation des filtres

Le tableau 4.8 représente les données des filtres consommés.

Tableau 4.8. Quantité des filtres consommés durant les années 2014,2015 et 2016

Filtres	quantité (par pièce)
Filtre à huile	31
Filtre à gasoil	26
Cartouche à huile	15
Filtre à air	14
Filtre sécheur	11

Pré filtre	10
Maintenance Kit	7
Cartouche à carburant	6
Cartouche de sécurité	5

La figure 4.12 représente la quantité des différents filtres consommés par 8 camions durant la période de 2014 à 2016.

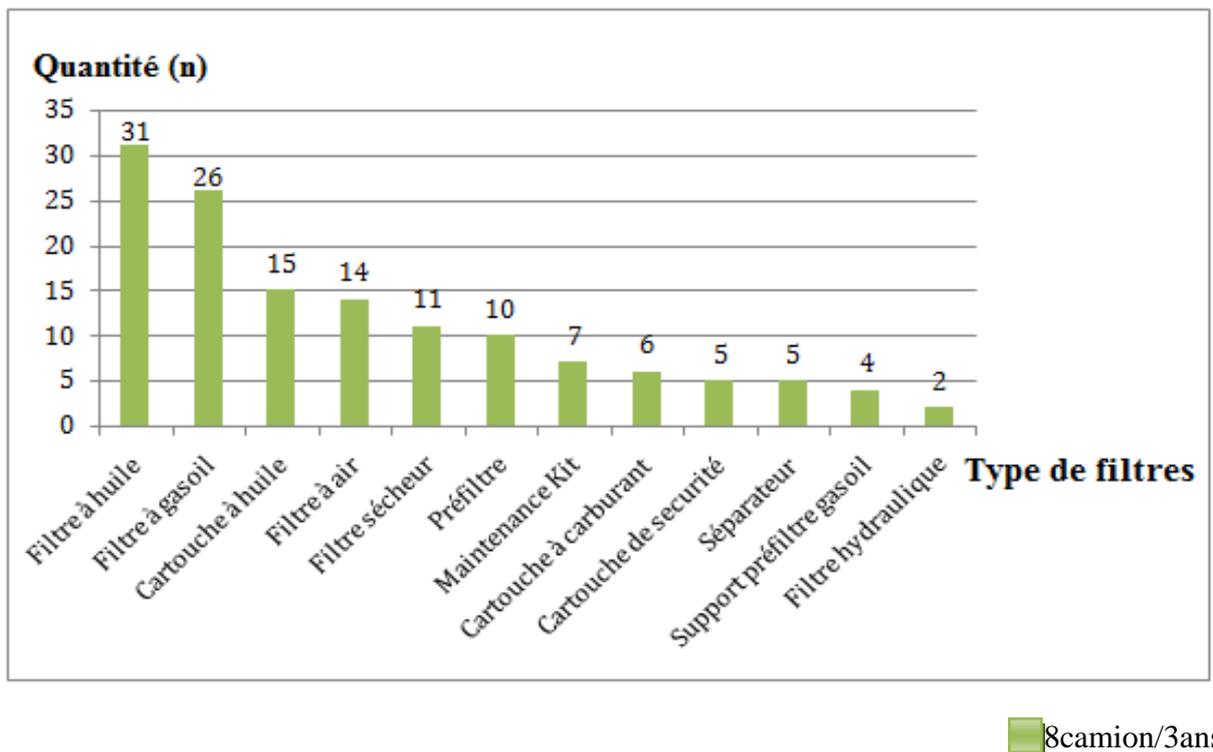


Figure 4.12. Quantité des filtres consommés durant les années 2014,2015 et 2016

Interprétation

On remarque la consommation des filtres des huiles est plus élevé par rapport aux filtres à gasoil à cause de la consommation importante des huiles par les camions en cour de travail.

Remarque

Les vidanges des moteurs sont effectués tous les 15000 km, on a constaté que l’huile moteur 15W40 totale est le plus consommé grâce a sa viscosité qui présente une fiabilité peut tenir jusqu’au longue période. Concernant le changement du filtre à l’huile, après une étude approfondie avec essai sur terrain, on a constaté que son changement peut être alterné à la deuxième vidange de moteur. Le même changement se fait pour le filtre à gasoil.

4.2. Application

4.2.1. Choix du critère : Temps de réparation et nombre d'intervention

Puisque les camions tombent souvent en panne, et puisque l'entreprise n'a pas des données fiables sur les coûts des défaillances, on a préféré de travailler sur le temps de réparation, et grâce à l'aide de toute l'équipe de la maintenance au niveau de l'entreprise. On a pu arriver à connaître le temps de réparation pour chaque camion analysé dans ce travail.

4.2.2. Temps de réparation

L'étude du traitement et du diagnostic des camions sera basée sur le nombre de défaillance et le temps réparation durant les trois (03) années précédentes, à savoir (2014,2015 et 2016). Le tableau 4.9 représente le temps de réparation en heure pour chaque camion durant les trois (3) années précédentes.

Tableau 4.9. Temps de réparation durant les années 2014,2015 et 2016

Camions	Le temps de réparation (heure)			Somme
	L'année 2014	L'année 2015	L'année 2016	
SCANIA TR008	Non disponible	14	12	26
SCANIA TR009	Non disponible	23	25	48
BEIBEN TR005	137	32	32	201
BEIBEN TR007	27	35	21	83
MERCEDES TR001 AQ	28	168	16	212
MERCEDES TR002ACH	7	7	14	28
MERCEDES PLB001	67	13	71	151
MERCEDES PLB003AQ	20	157	33	210

Remarque

Les données des deux camions (SCANIA TR008) et (SCANIA TR009) ont été non disponibles durant l’année 2014.

La figure 4.13 représente le temps de réparation durant l’année 2014

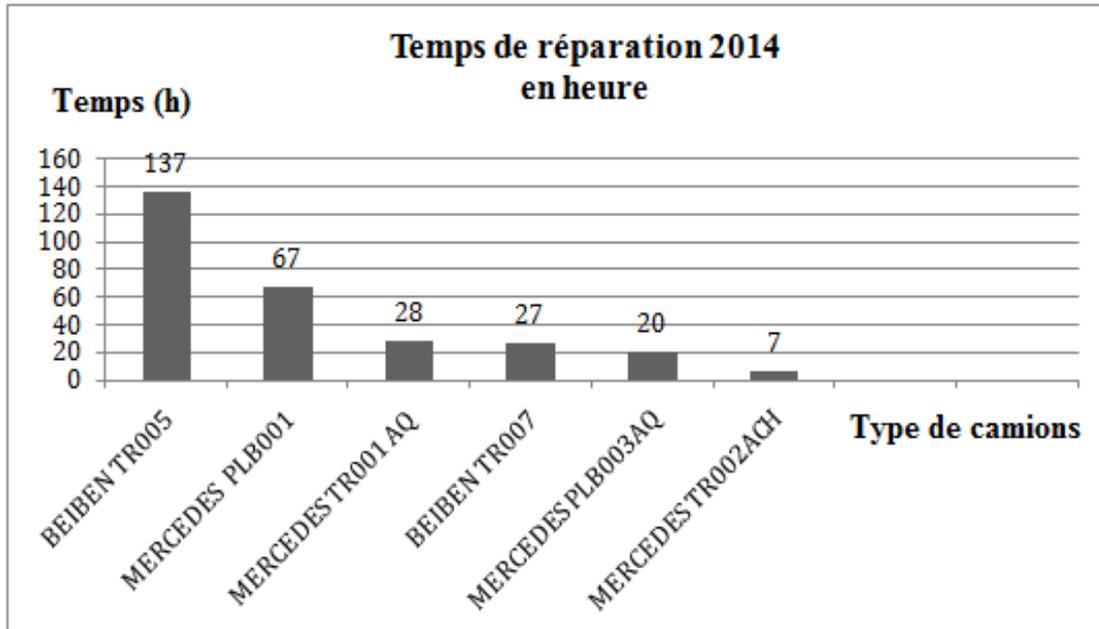


Figure 4.13. Temps de réparation durant l’année 2014

Interprétation

On remarque que le camion BEIBEN TR005 à la plus grande valeur de temps de réparation pendant l’année 2014.

La figure 4.14 représente le temps de réparation durant l’année 2015.

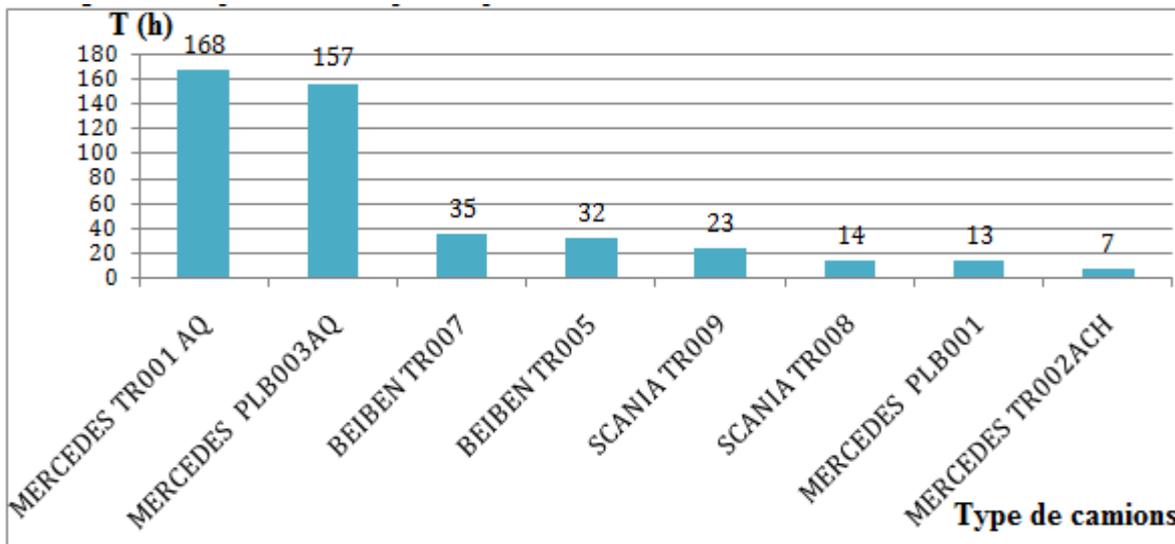


Figure 4.14. Temps de réparation durant l’année 2015

Interprétation

On remarque pour l'année 2015 que le camion MERCEDES TR001 AQ a la plus grande valeur de temps de réparation.

La figure 4.15 représente le temps de réparation durant l'année 2016.

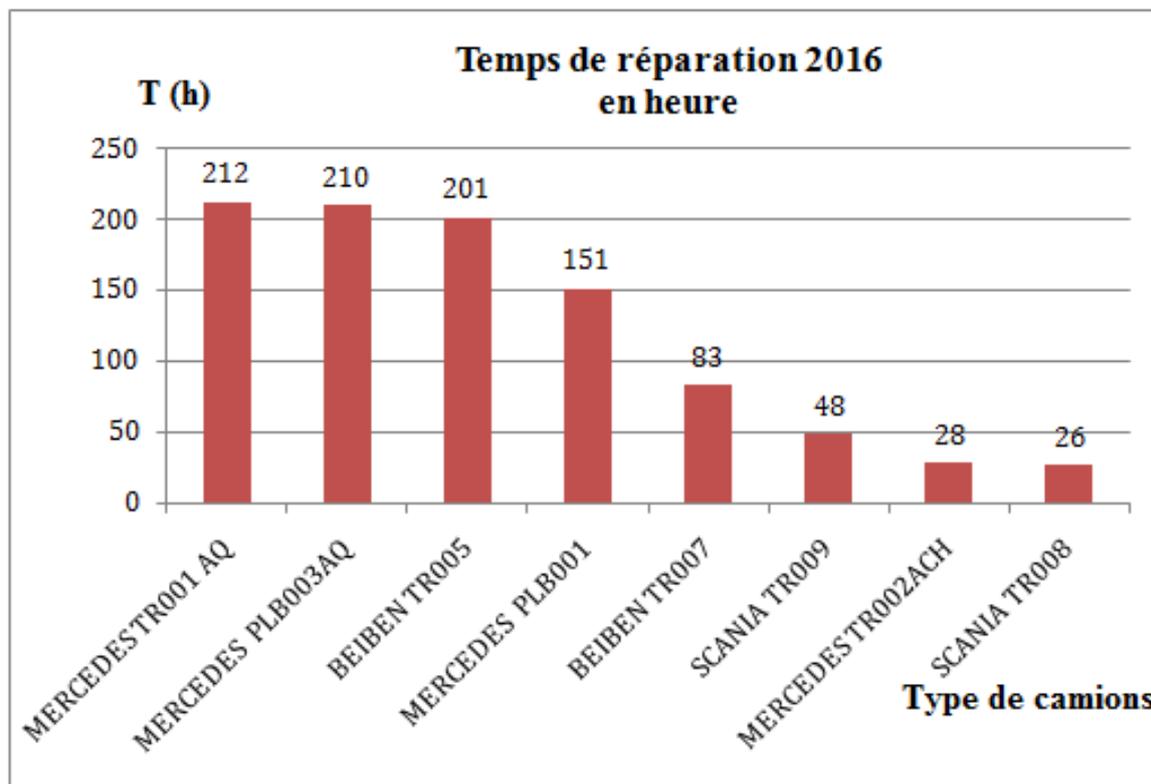


Figure 4.15. Temps de réparation durant l'année 2016

Interprétation

On remarque pour l'année 2016 que le camion MERCEDES TR001 AQ a la plus grande valeur de temps de réparation.

4.2.3. Description de la méthode de PARETO

4.2.3.1. Définition

La méthode ABC est une méthode graphique qui met en évidence les cas les plus représentatifs d'une situation tout en mettant en évidence le peu d'importance des éléments les plus faibles, c'est un outil d'aide à la décision. La loi repose sur une série d'éléments clairement définies et traitées en fonction d'un critère correspondant à un caractère et une période donnée.

4.2.3.2. Objectif d'utilisation

La courbe de PARETO est un moyen simple pour classer les équipements par ordre de mérite d'intervention. Cette méthode et son utilisation sont aussi connues sous le nom de la « Règle des 20/80 » ou « Méthode de ABC ». Voir la figure 4.16.

Les objectifs sont :

- Faire apparaître les causes essentielles d'un phénomène.
- Hiérarchiser les causes d'un phénomène.
- Evaluer les effets d'une solution.
- Mieux cibler les actions à mettre en œuvre.

La figure 4.16 représente la courbe de PARETO.

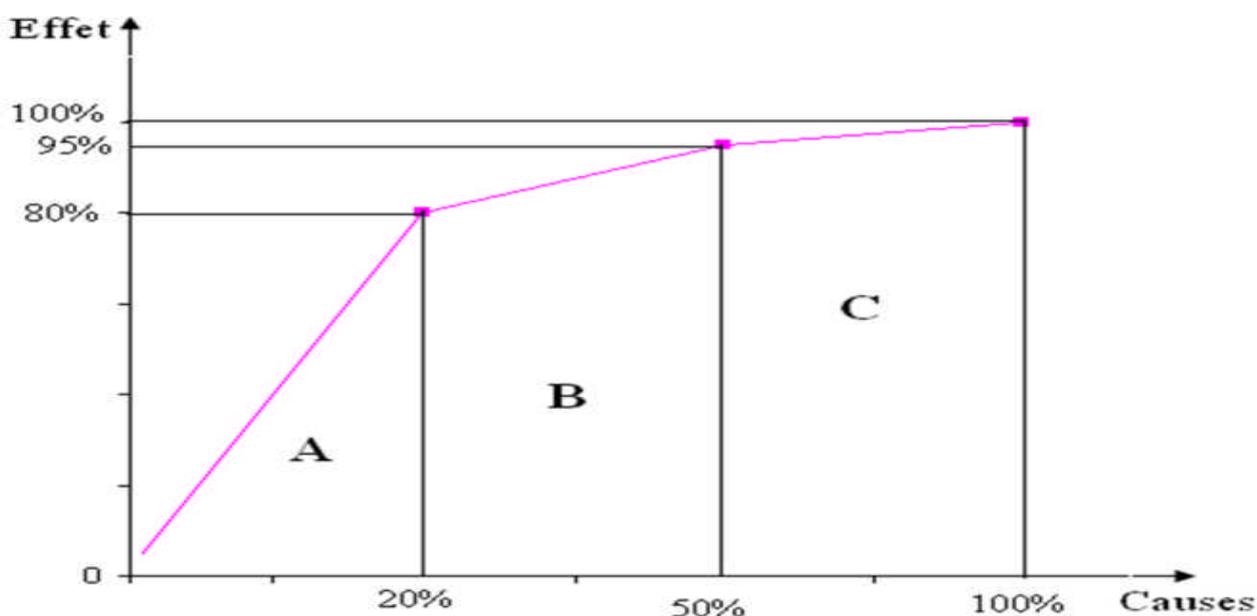


Figure 4.16. Courbe de PARETO

Il s'agit de délimiter sur la courbe obtenue des zones à partir de l'allure de la courbe. En général la courbe possède deux cassures, ce qui permet de définir trois zones A, B, C.

- Zone A : c'est la première partie de la courbe déterminée plus défaillante.
- Zone B : c'est la seconde partie de la courbe déterminée moyennement défaillante.
- Zone C : c'est la troisième partie de la courbe déterminée moins défaillante.

L'étude porte dans un premier temps sur les éléments constituant la zone A en priorité. Si les décisions et les modifications apportées aux éléments de la zone A ne donnent pas satisfaction, on continuera l'étude sur les premiers éléments de la zone B jusqu'à satisfaction. Les éléments appartenant à la zone C peuvent être négligés, car ils ont peu d'influence sur le critère étudié.

4.2.3.3. Méthodologie – Démarche

- Etablir les listes des données.
- Classer les valeurs du critère étudié en ordre décroissantes.
- Calculer le cumule de ces valeurs.
- Calculer, pour chaque cumule le pourcentage.
- Représenter le graphique des pourcentages cumulés

4.2.4 Diagramme en bâton de « PARETO »

Dans cette phase on a fait une étude PARETO sur les huit (8) camions, afin de détecter celles les plus critiques, qui nous amène à trouver les organes critiques au niveau d'un camion.

Cette étude a été basé sur le traitement et le diagnostic de l'historique des camions d'après le nombre de défaillance (nombre d'intervention) ou bien fréquence « N » et sur le temps de réparation « T » durant les trois (3) années précédentes, à savoir (2014,2015 et 2016).

Le tableau 4.10 représente le nombre de panne et la durée d'intervention :

Tableau 4.10. Analyse du diagramme en bâton de « PARETO »

Camion	Fréquence N	Durée d'intervention T (h)	N x T
SCANIA TR008	27	26	702
SCANIA TR009	39	48	1872
BEIBEN TR005	74	201	14874
BEIBEN TR007	49	83	4067
MERCEDES TR001 AQ	83	212	17596
MERCEDES TR002ACH	29	28	812
MERCEDES PLB001	83	151	12533
MERCEDES PLB003AQ	58	210	12180

4.2.4.1. Diagramme de fiabilité

La figure 4.17 représente le diagramme de fiabilité

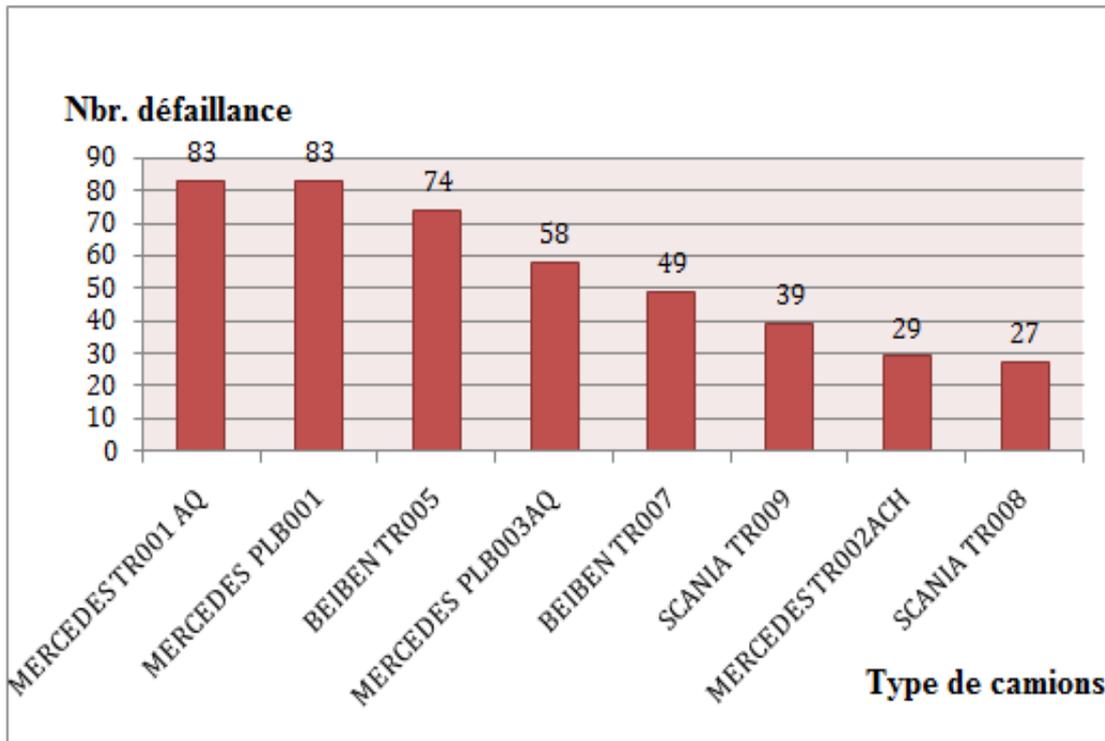


Figure 4.17. Diagramme de fiabilité

4.2.4.2. Diagramme de maintenabilité

La figure 4.18 représente le diagramme de maintenabilité

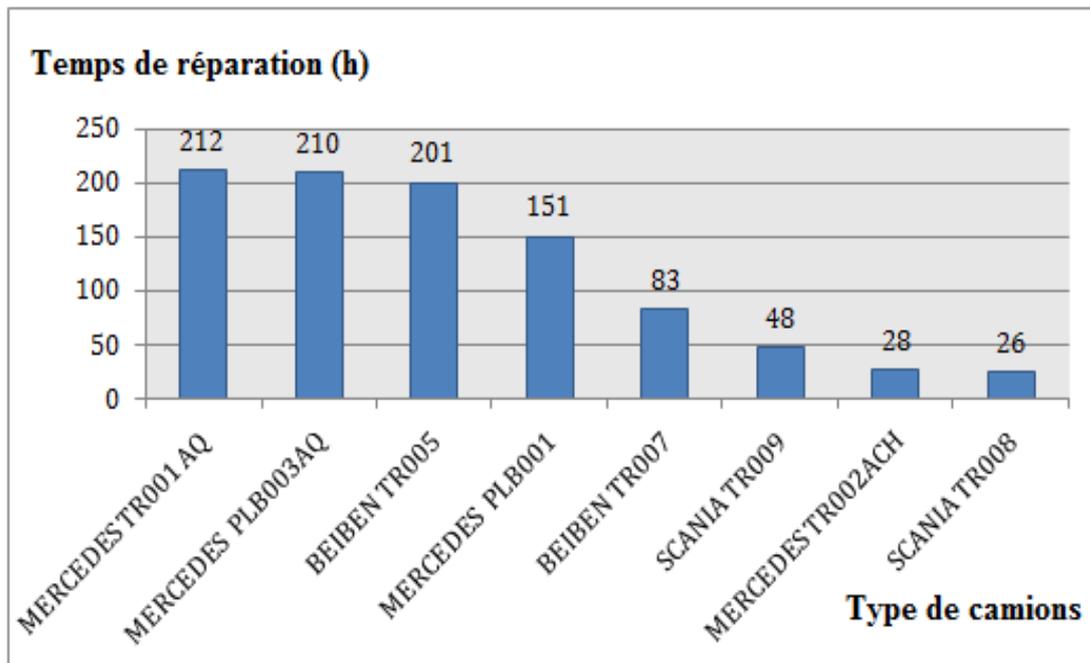


Figure 4.18. Diagramme de maintenabilité

4.2.4.3 Diagramme de disponibilité

La figure 4.19 représente le diagramme de disponibilité

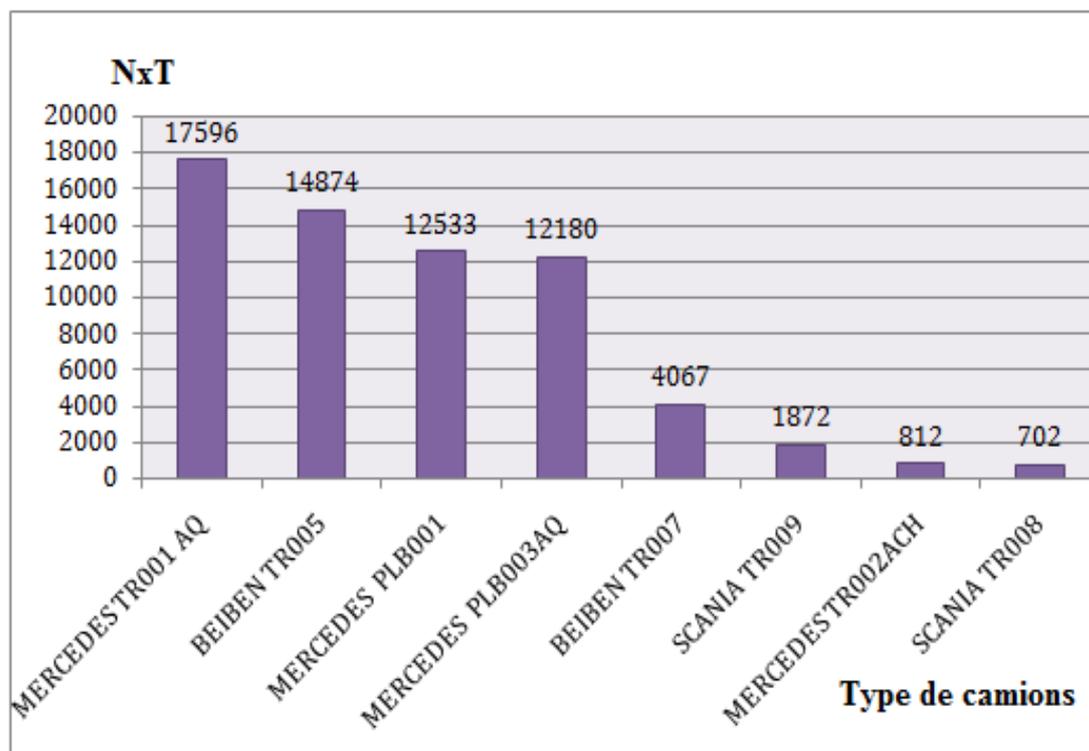


Figure 4.19. Diagramme de disponibilité

4.2.4.4. Courbe ABC

On construit un tableau dans lequel les camions sont classés par ordre décroissant du nombre de panne.

Le tableau 4.11 représente les valeurs d'analyse par ABC.

Tableau 4.11. Analyse par ABC

Camion	Fréquence N	Durée d'intervention T (h)	N x T	N x T (%)	Cumule (%)
MERCEDES TR001 AQ	83	212	17596	27%	27%
BEIBEN TR005	74	201	14874	23%	50%
MERCEDES PLB001	83	151	12533	19%	70%
MERCEDES PLB003AQ	58	210	12180	19%	88%
BEIBEN TR007	49	83	4067	6%	95%
SCANIA TR009	39	48	1872	3%	98%
MERCEDES TR002ACH	29	28	812	1%	99%
SCANIA TR008	27	26	702	1%	100%
		Somme	64636		

La figure 4.20 représente la courbe ABC des camions.

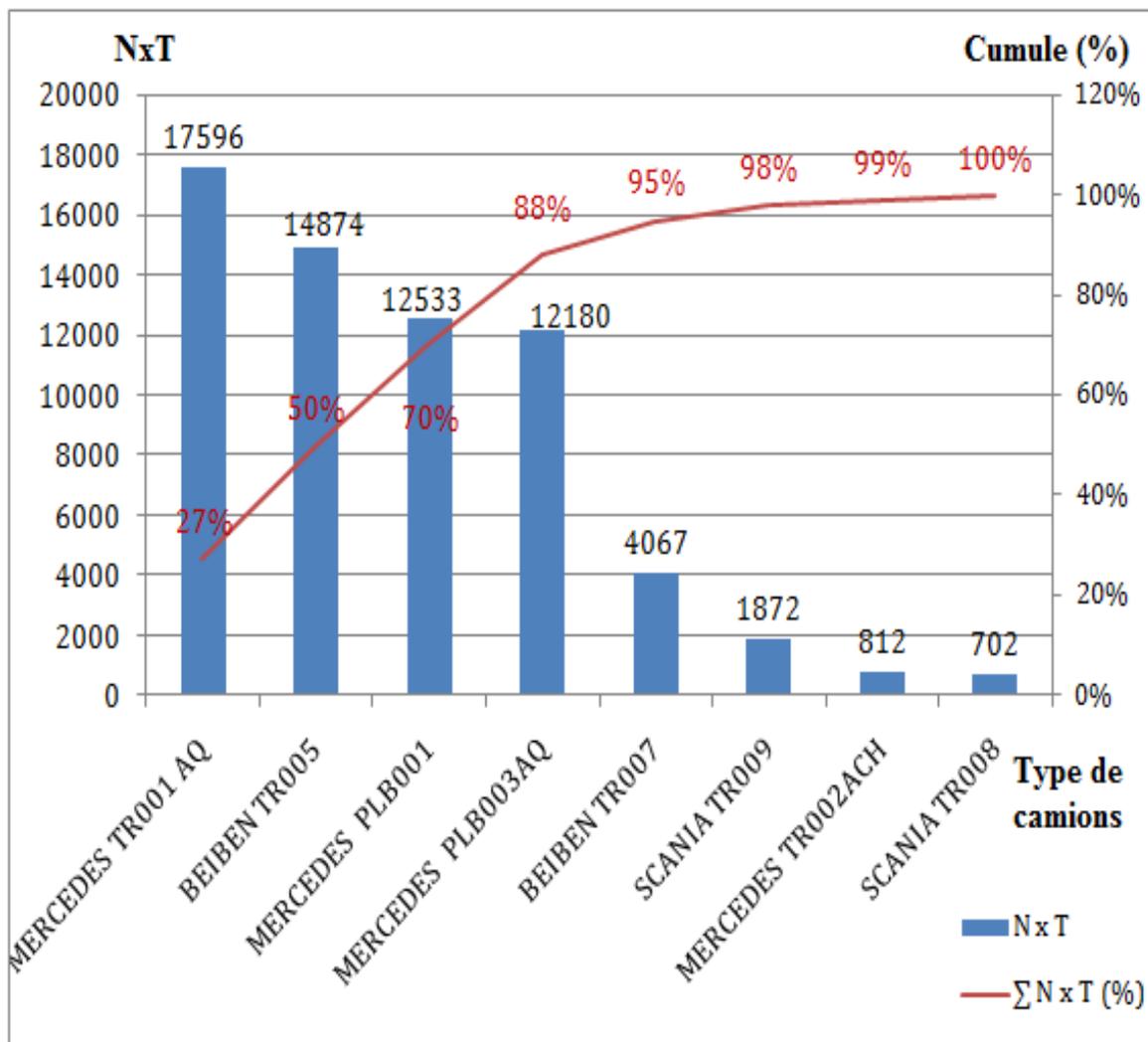


Figure 4. 20. Courbe ABC

Interprétation

Le diagramme montre que les camions suivants: MERCEDES TR001 AQ, BEIBEN TR005 et MERCEDES PLB001 sont responsables de 80% de l'indisponibilité des équipements, ceci est dû au nombre élevé des pannes dans l'entreprise durant les trois (3) années. Mais vu l'imprécision des données on ne peut pas dire que n'importe quel camion parmi ces camions est le camion critique dans l'entreprise, pour cela on va prendre les trois (3) premiers camions critiques à savoir :

- MERCEDES TR001 AQ
- BEIBEN TR005
- MERCEDES PLB001

Les figures suivantes représentent les trois (3) premiers camions critiques dans l'entreprise.



Figure 4.21. MERCEDES TR001 AQ



Figure 4.22. BEIBEN TR005



Figure 4.23. MERCEDES PLB001

Remarque

On va appliquer notre diagnostic sur les systèmes de chaque camion.

4.3. Etude critique des systèmes

Pour avoir connaître les systèmes critiques des camions dans l'entreprise on va faire une étude par diagramme de Pareto sur les trois (3) premier camions cités précédemment.

4.3.1. MERCEDES TR001 AQ

Le tableau 4.12 représente les valeurs d'analyse par ABC de MERCEDES TR001 AQ

Tableau 4.12. Analyse par ABC de MERCEDES TR001 AQ

Système	Fréquence N	Durée d'intervention T (h)	N x T	N x T (%)	Cumule (%)
Système freinage	13	38	494	37%	37%
Système moteur	8	58	464	35%	72%
Système électrique	21	15	315	23%	95%
Système transmission	2	14	28	2%	97%
Système tôlerie	5	4	20	1%	98%
Système translation	4	4	16	1%	99%
Système hydraulique	2	1	2	1%	100%
Somme			1339		

La figure 4.24 représente la courbe ABC de MERCEDES TR001 AQ

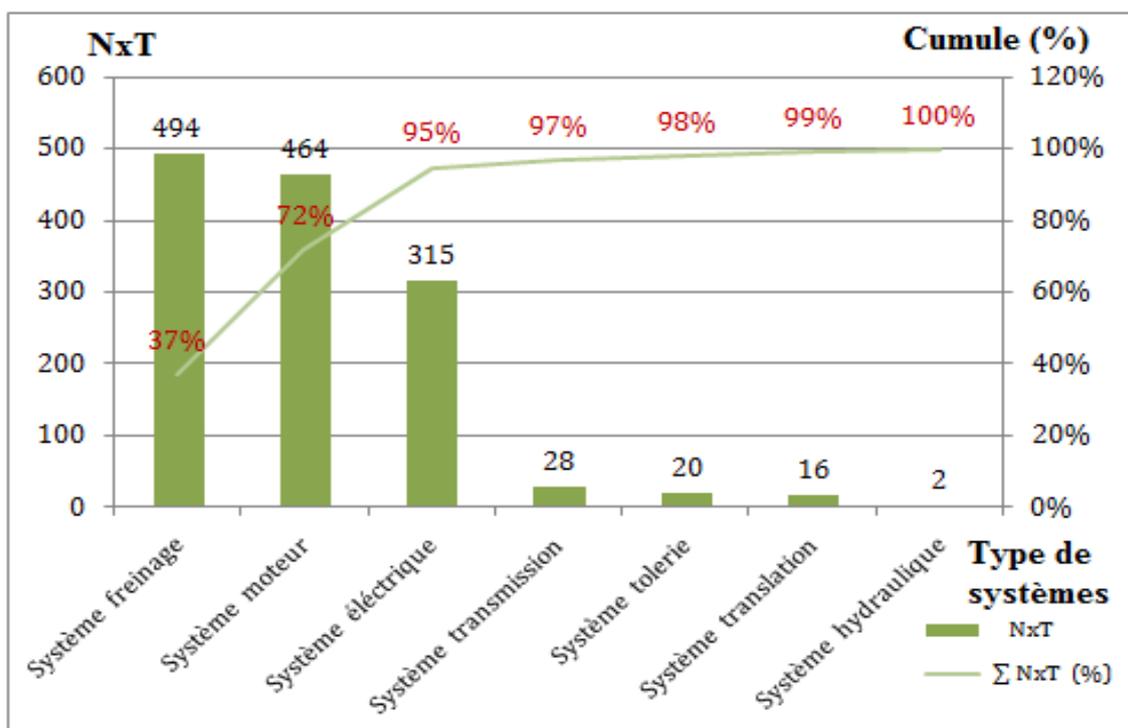


Figure 4.24. Courbe ABC de MERCEDES TR001 AQ

Interprétation

On remarque que le système le plus défaillant c'est le système freinage, ceci est du aux nombre élevé des panne dans le camion durant les trois (3) années.

4.3.2. BEIBEN TR005

Le tableau 4.13 représente les valeurs d'analyse par ABC de BEIBEN TR005

Tableau 4.13. Analyse par ABC de BEIBEN TR005

Système	Fréquence N	Durée d'intervention T (h)	N x T	N x T (%)	Cumule (%)
Système moteur	18	65	1170	63%	63%
Système électrique	20	15	300	16%	79%
Système freinage	15	17	255	14%	93%
Système transmission	3	24	72	4%	97%
Système suspension	5	11	55	3%	100%
Somme			1852		

La figure 4.25 représente la courbe ABC de BEIBEN TR005

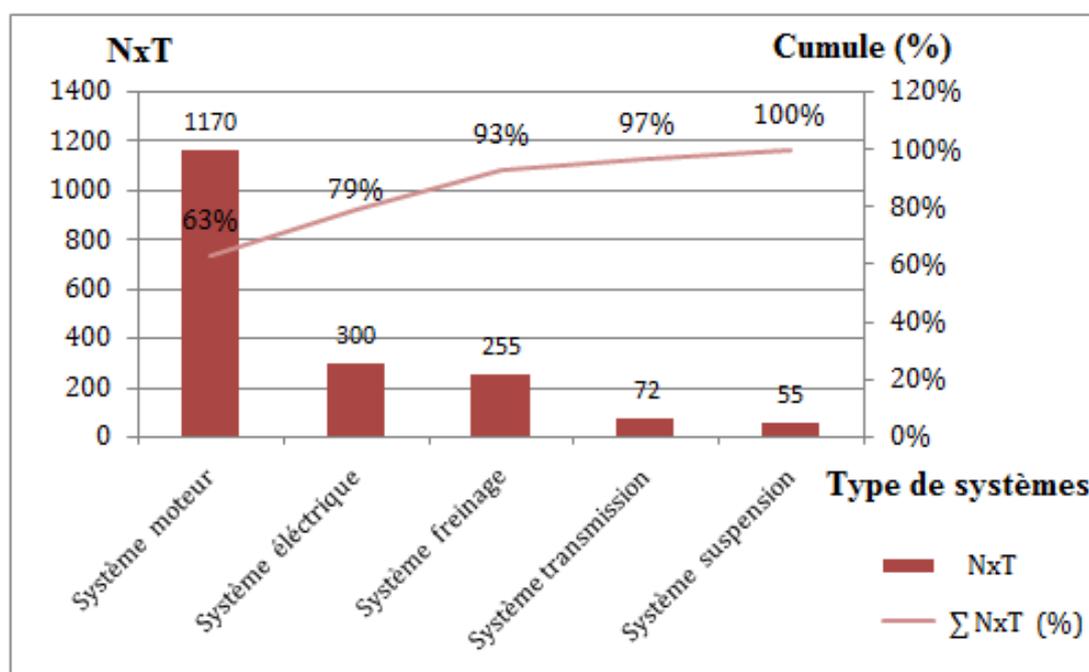


Figure 4.25. Courbe ABC de BEIBEN TR005

Interprétation

On remarque que le système moteur est le système le plus critique, ceci est du aux nombre élevé des panne dans le camion durant les trois (3) années.

4.3.3. MERCEDES PLB001

Le tableau 4.14 représente les valeurs d'analyse par ABC de MERCEDES PLB001

Tableau 4.14 Analyse par ABC de MERCEDES PLB001

Système	Fréquence N	Durée d'intervention T (h)	N x T	N x T (%)	Cumule (%)
Système freinage	9	39	351	26%	26%
Système moteur	12	27	324	24%	50%
Système électrique	20	15	300	22%	72%
Système tôlerie	14	16	224	16%	88%
Système translation	8	8	64	5%	93%
Système suspension	5	12	60	4%	97%
Système transmission	3	18	54	3%	100%
Somme			1377		

La figure 4.26 représente la courbe ABC de MERCEDES PLB001

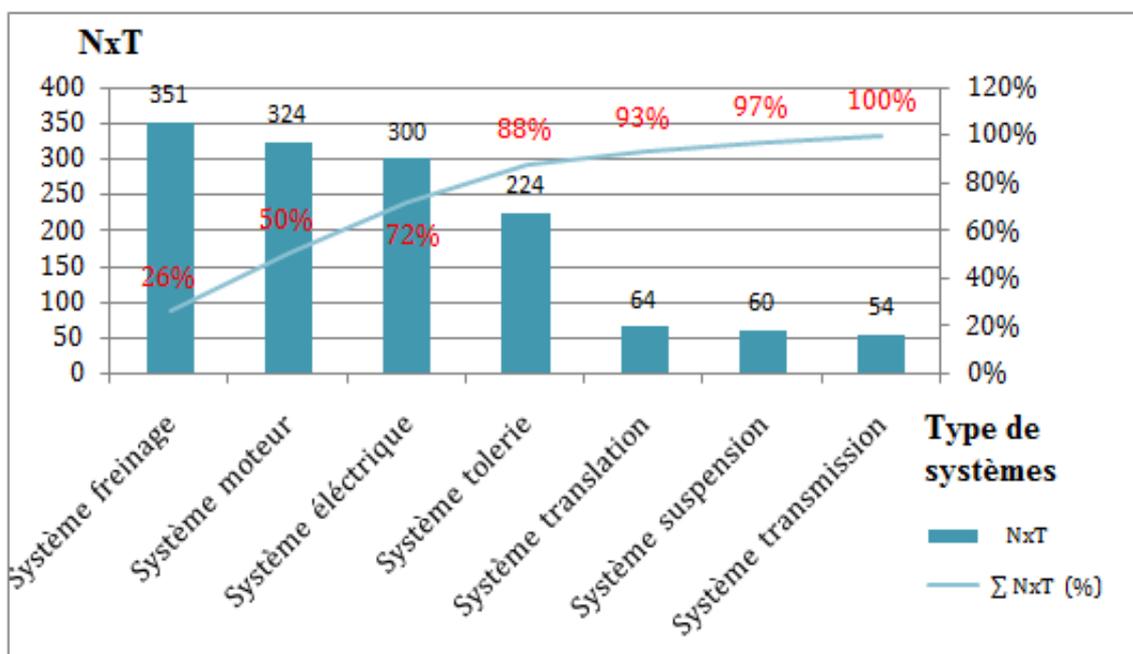


Figure 4.26. Courbe ABC de MERCEDES PLB001

Interprétation

On remarque que le système freinage est le système plus défaillant, ceci est dû au nombre élevé des pannes dans le camion durant les trois (3) années.

Conclusion

Dans cette partie nous avons utilisé des résultats d'exploitation à partir des données réelles, ceci nous permettra de constater trois (3) camions critiques en utilisant la méthode de Pareto.

Et puisque l'on a travaillé juste avec le temps de réparation, il était nécessaire d'approfondir l'étude jusqu'aux systèmes des camions, où trois (3) systèmes critiques sont détectés.

On va travailler avec le système freinage dans le chapitre cinq (5) d'après les conseils de service de maintenance.

CHAPITRE 5 :
APPLICATION DE LA FIABILITÉ AU
NIVEAU DU PARC ROULANT

Chapitre 5 : Application de la fiabilité au niveau du parc roulant

5.1. Introduction

Pour optimiser le bon fonctionnement du parc roulant dans l'entreprise, de nombreuses méthodes sont mises en application. Notre étude est divisée en trois parties, Dans le quatrième chapitre on a analysé les équipements par la méthode de PARETO afin de déterminer les camions les plus défaillants. Dans la deuxième partie on a utilisé la méthode AMDEC afin d'identifier les organes critiques suite à un découpage fonctionnel des équipements stratégiques. Dans la troisième partie on va étudier la loi qui a l'avantage d'être très souple et permet de s'ajuster à différentes situations, c'est la loi de « Weibull » qui contient trois paramètres. En dernier lieu, on exploite l'abaque de Noiret qui aide à prendre une décision sur le choix du type de maintenance.

L'étude de PARETO dans le chapitre quatre (4) nous a permis à constater trois (3) systèmes critiques, parmi eux deux (2) systèmes de freinage. Alors que ce travail va s'intéresse sur les systèmes de freinage suite à des conseils des données de défaillance constatées par le service de maintenance de l'entreprise.

Ces deux (2) systèmes sont :

- Le système de freinage du camion MERCEDES TR001 AQ
- Le système de freinage du camion MERCEDES PLB001

5.2. Description du système de freinage

Le système de freinage des Actros 2040S et 3331K comprend de série de soupape de décharge constante et un frein sur échappement, le tout constitue le frein moteur. De cette façon, le frein de service est soulagé si bien que les garnitures de frein sont ménagées, par exemple, lors de longs trajets en descente. Sur demande, les systèmes de freinage peuvent être complétés par des ralentisseurs performants (hydraulique ou électromagnétique).

Les différents organes d'un système de freinage sont :

- Plaquettes de frein
- Contact d'avertissement des plaquettes de frein
- Capteur ABS
- Jeux de joints, étrier de frein
- Anneau de palpeur, ABS
- Revêtement de pédale, pédale de frein

- Ressort, mâchoire de frein
- Vis, disque de frein
- Arbre de frein, frein à tambour
- Bague d'étanchéité, mâchoire de frein
- Clapet de gaz d'échappement, frein moteur
- Régleur de timonerie.

La figure 5.1 représente les plaquettes de frein et la figure 5.2 représente le régleur de timonerie



Figure 5.1. Kit de plaquette de frein



Figure 5.2. Régleur de timonerie

5.3. Application par AMDEC

Nous allons utiliser la théorie de l'AMDEC pour une analyse approfondie des défaillances et la détermination des éléments critiques de système hydraulique afin d'identifier les cause et les modes de défaillances.

D'après les données historiques de l'entreprise, nous ayons calculé les criticités des différents organes du système de freinage des deux (2) camions Actros.

Le tableau 5.1 représente l'analyse de système freinage de camion MERCEDES TR001 AQ.

Tableau 5.1. Analyse de système freinage de camion MERCEDES TR001 AQ

Organes	Fonction d'état	Mode de défaillance	Cause	Effet sur le système	Criticité				Action à engager
					F	G	D	C	
Plaquette de frein	Système de freinage	Usure	Mauvais opérateur/ Mauvais qualité	Dégradation du système/ Mauvais Freinage/ Déséquilibre	1	2	2	4	Remplacement
Disque de frein	Système de freinage	Usure/ Fissure	Mauvais opérateur/ Usure de plaquette de frein/non remplacement	Immobilisation	3	4	3	36	Remplacement
Tête d'accouplement male	Relier les conduits d'alimentations	Rupture	Mauvais alignement/ Durée de vie	Arrêt du système	1	3	1	3	Remplacement
Tête d'accouplement femelle	Relier les conduits d'alimentations	Rupture	Mauvais alignement/ Durée de vie	Arrêt du système	2	3	1	6	Remplacement
Accouplement	Relier les conduits d'alimentations	Rupture	Mauvais alignement/ Durée de vie	Arrêt du système	1	3	1	3	Remplacement
Raccord de pression	Contrôle	Rupture	Mauvaise manipulation	Perte de pression	1	2	1	2	Remplacement

Le tableau 5.2 représente l'analyse de système freinage de camion MERCEDES PLB001.

Tableau 5.2. Analyse de système freinage de camion MERCEDES PLB001

Organes	Fonction d'état	Mode de défaillance	Cause	Effet sur le système	Criticité				Action à engager
					F	G	D	C	
Plaquette de frein	Système de freinage	Usure	Mauvais opérateur/ Mauvaise qualité	Dégradation du système/ Mauvais Freinage/ Déséquilibre	1	2	2	4	Remplacement
Disque de frein	Système de freinage	Usure/ Fissure	Mauvais opérateur/ Usure de plaquette de frein/non remplacement	Immobilisation	3	4	3	36	Remplacement
Assemblage pneumatique	Assurer l'étanchéité	Rupture/Usure/ Fissure	Mauvaise qualité/ Condition de travail	Fuite	1	1	2	2	Remplacement
Tuyau d'air	Commande du système	Rupture	Surcharge/ Non remplacement	Fuite/ Arrêt du système	1	3	2	6	Remplacement
Buse d'air	Assurer la liaison	Rupture	Mauvais serrage	Fuite/ Disfonctionnement	1	3	2	6	Remplacement

Après que nous ayons calculé les criticités des différents organes du système de freinage des deux (2) camions Actros, on trace l'histogramme de criticité qui nous permet de découvrir l'organe qui a la plus grande criticité, et ainsi, on peut savoir les actions à apposer pour diminuer le niveau de criticité de cet organe.

La figure 5.3 représente l'histogramme de classement des résultats de criticité des organes.

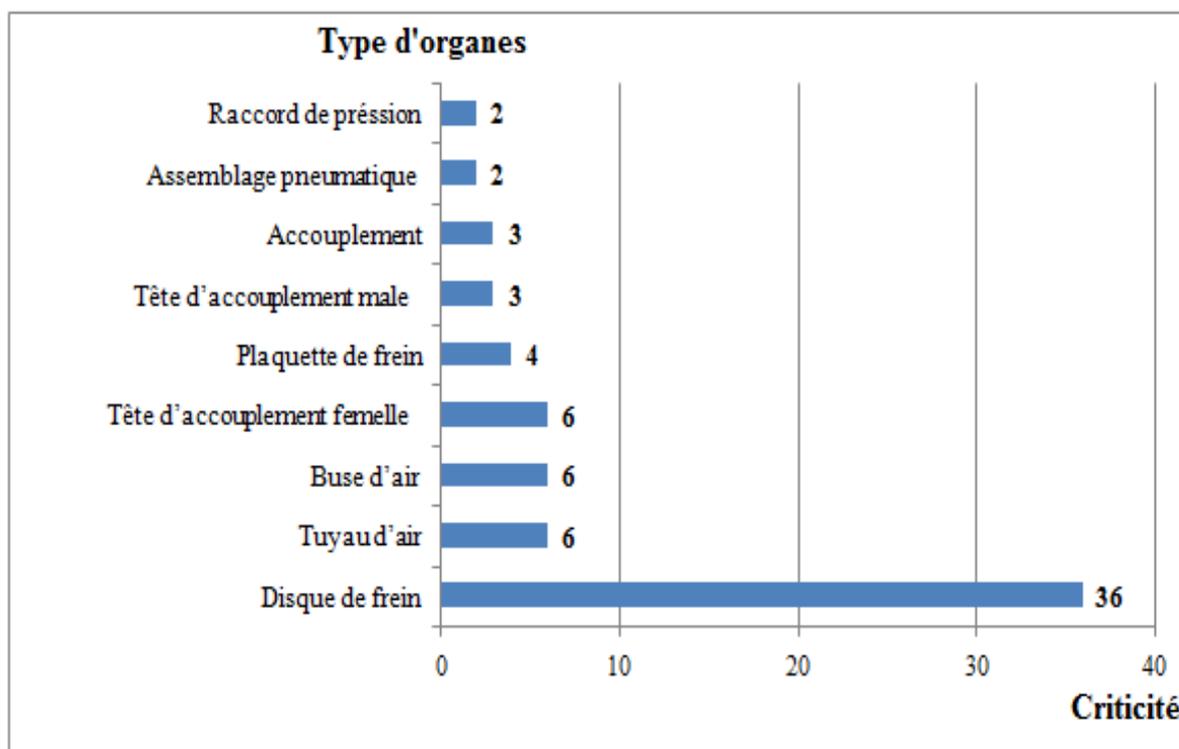


Figure 5.3. Classement des résultats de criticité

Selon les résultats de l'histogramme nous pouvons confirmer que le disque de frein est l'organe le plus critique.

Les figures (5.4) et (5.5) représentent les disques de frein neufs et en emplacement.



Figure 5.4. Disque de frein neuf



Figure 5.5. Disque de frein placé (us )

La figure 5.6 représente un disque de frein fissuré.

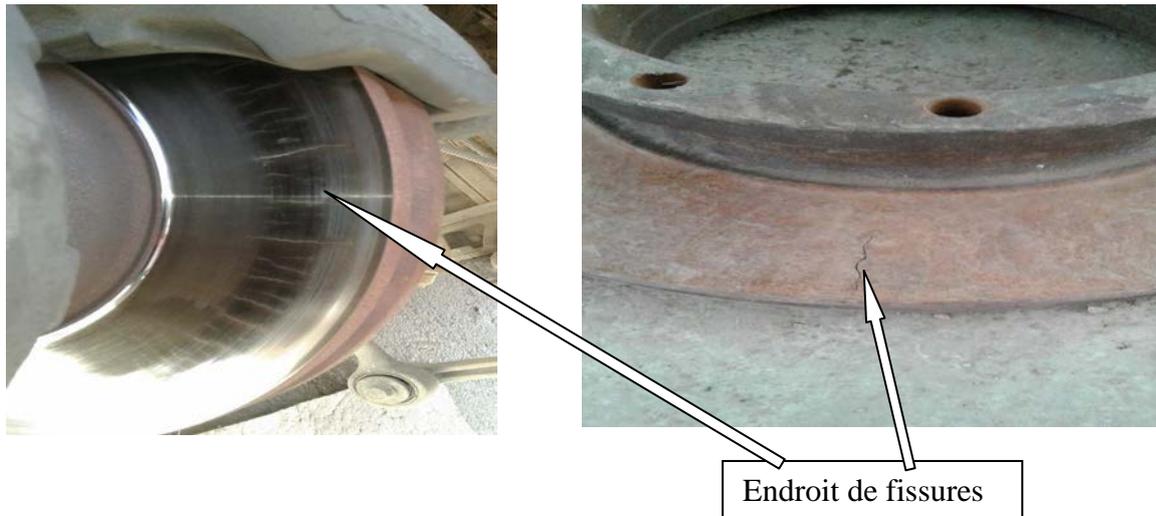


Figure 5.6. Disque de frein fissuré

5.4. Analyse par l'abaque de NOIRET

On utilise un outil efficace et rapide pour exploiter les données pratiques de dégradation des équipements. C'est l'abaque de Noiret qui nous permet de localiser la zone de dégradation de l'équipement, ce qui montre bien la zone de dégradation dans la figure 5.7. Elle positionne le résultat dans la zone de vieillissement.

La figure 5.7 représente l'abaque de NOIRET.

On distingue que le score est 616 points, donc l'abaque de Noiret montre bien une maintenance préventive recommandée.

5.5. Application du modèle de Weibull sur le disque de frein

Pour déterminer les paramètres de fiabilité nous allons utiliser le modèle de Weibull à trois paramètres par deux méthodes présentées comme suit :

- Méthode graphique.
- Méthode numérique.

5.5.1. Préparations des données historiques

Dans le tableau ci-dessus sont portées les TBF à partir données pour une période de trois (3) années. On calcul alors la probabilité de défaillance estimée par les fréquences $f(t)$ et la fiabilité $R(t)$. Après calcul, l'ensemble des données est regroupé dans le tableau 5.3.

Le tableau 5.3 représente la préparation des données historiques du disque de frein.

Tableau 5.3. Préparation des données historiques du disque de frein

Ordre i	TBF (heure)	F(t) estimé	R(t) estimé
1	128	0.09	0.91
2	296	0.23	0.77
3	584	0.36	0.64
4	696	0.50	0.50
5	744	0.64	0.36
6	984	0.77	0.23
7	2720	0.91	0.09

5.5.2. Tracé graphique

Le traçage des données est représenté sur le papier "ALLEN PLAIT», figure 5.8 pour déterminer les paramètres de dégradation de "Weibull". Le tracé graphique est confirmé par la droite de Weibull déterminée par une méthode numérique.

La figure 5.8 représente la droite de Weibull.

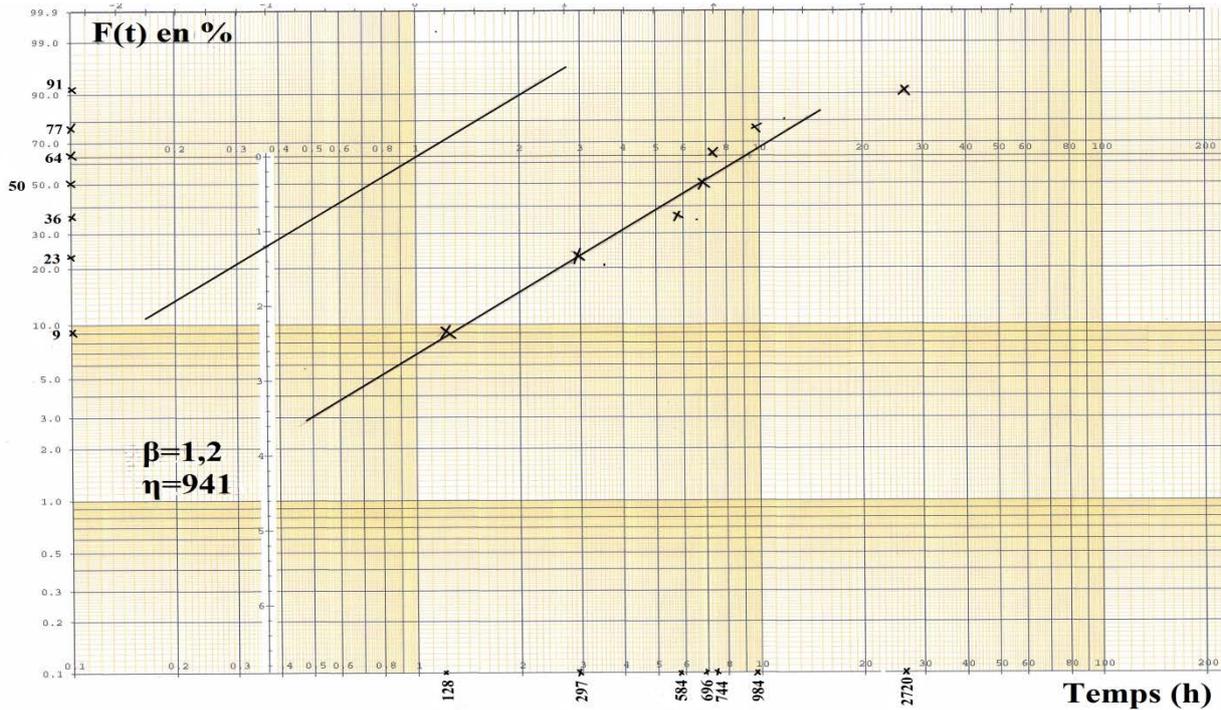


Figure 5.8. Droite de Weibull

La figure 5.9 représente la droite de Weibull par la méthode numérique.

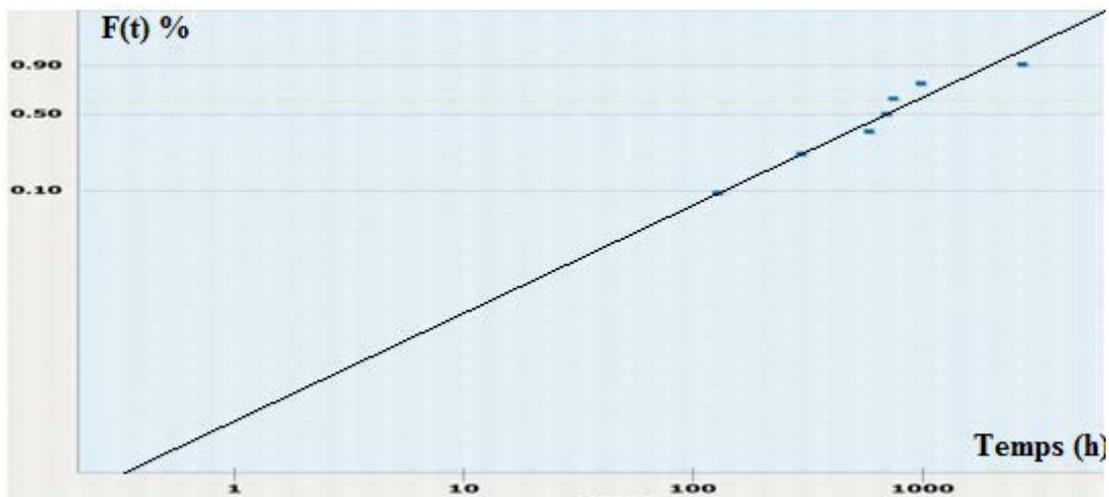


Figure 5.9. Droite de Weibull (méthode numérique)

La détermination graphique des paramètres de la fiabilité nous donne ($\gamma=0$; $\beta=1,2$; $\eta=941$)
 Les courbes (5.8) et (5.9) représentent bien la courbe de fiabilité et montre une bonne corrélation entre la partie analytique et la partie numérique.

5.5.3. Analyse des résultats

Ci-joint le tableau récapitulatif et comparatif des résultats déterminés par calcul à l'aide de la loi de fiabilité Weibull.

$$R_{th} = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} ; \quad \lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} ; \quad f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp\left(-\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta$$

Le tableau 5.4 représente les résultats déterminés par calcul à l'aide de la loi de fiabilité Weibull.

Tableau 5.4. Tableau des résultats

Ordre i	TBF (heure)	R _{Th}	F _{Th}	f(t)	Taux de défaillance λ(t)
1	128	0,89	0,11	9,9E-04	0,00112
2	296	0,72	0,28	9,5E-04	0,00133
3	584	0,48	0,52	7,2E-04	0,00152
4	696	0,40	0,60	6,3E-04	0,00158
5	744	0,37	0,63	5,9E-04	0,00160
6	984	0,25	0,75	4,2E-04	0,00170
7	2720	0,01	0,99	0,2E-04	0,00207

Les courbes 5.10 et 5.11 confirme bien la comparaison entre les résultats pratiques et théoriques.

La figure 5.10 représente la fonction de fiabilité.

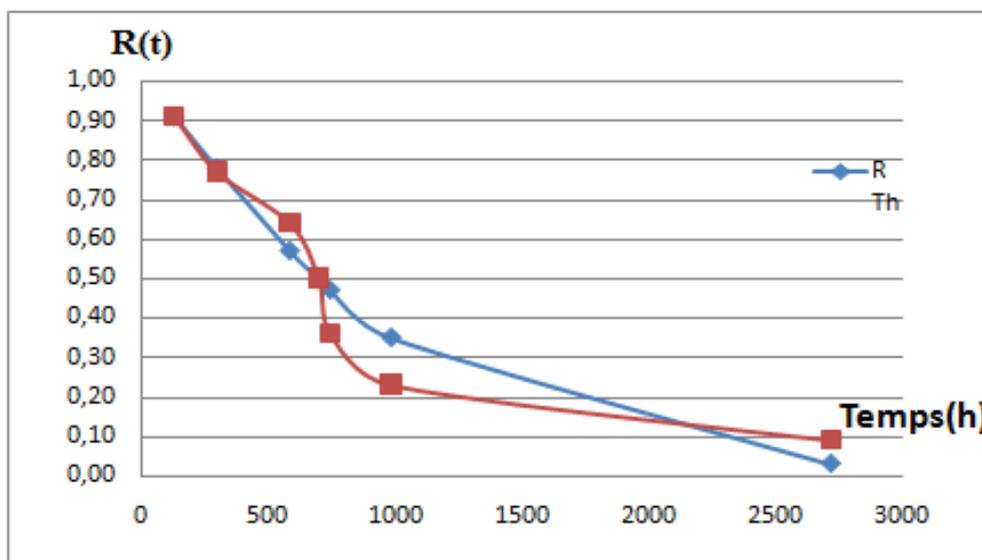


Figure 5.10. Fonction de fiabilité

La figure 5.11 représente la fonction de fiabilité par la méthode numérique.

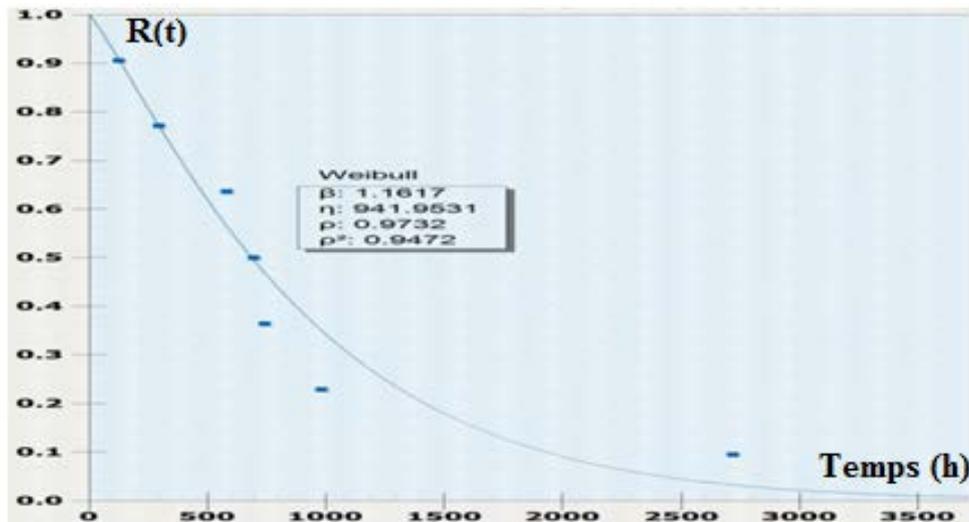


Figure 5.11. Fonction de fiabilité (méthodes numériques)

La courbe (5.10) déterminée analytiquement est validée par les résultats de la courbe de simulation numérique. On trouve un bon ajustement fait par notre méthode de fiabilité pour l'analyse effectuée sur l'élément défaillant. On remarque qu'il y a une petite différence dans la trace de la courbe de la figure 5.10 entre la fiabilité théorique et la fiabilité estimée, car la première est calculée depuis une équation avec des coefficients bien déterminés (β , η et γ) est la deuxième est une probabilité.

La figure 5.12 représente la courbe de répartition estimée et théorique.

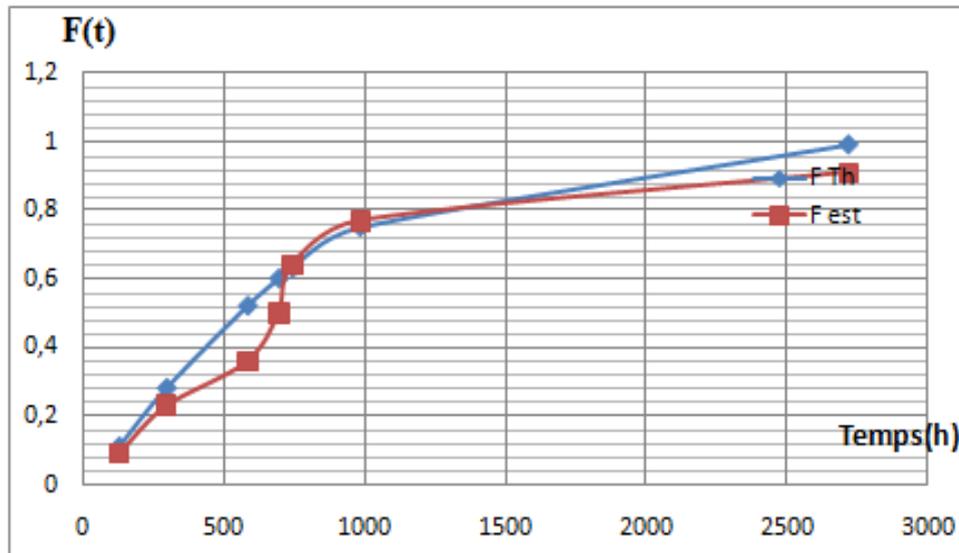


Figure 5.12. Courbe de répartition estimée et théorique

On remarque, dans la trace de la courbe de répartition estimée et théorique de la figure 5.12, une différence à des données pratiques et l'équation théorique pour le calcul des courbes de réparation.

La figure 5.13, présente la fonction de taux de défaillance $\lambda(t)$.

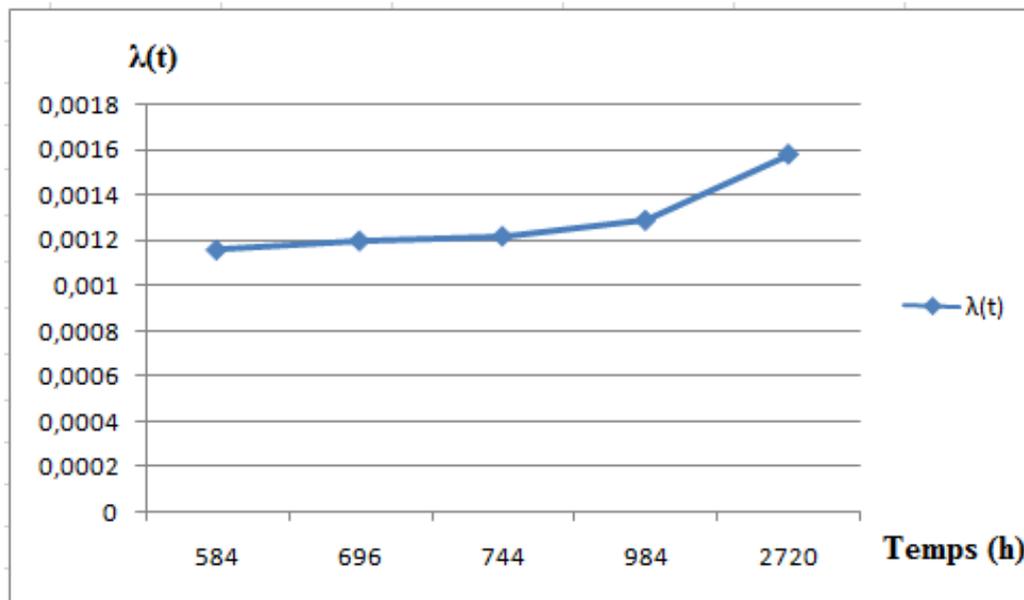


Figure 5.13. Taux de défaillance

Le taux de défaillance $\lambda(t)$ est bien représenté par un tronçon distinct sur la figure 5.13, On remarque que le taux de défaillance $\lambda(t)$ augmente avec le temps et que la dégradation ce fait graduellement.

La figure 5.14 représente la fonction de taux de défaillance $\lambda(t)$ par la méthode numérique.

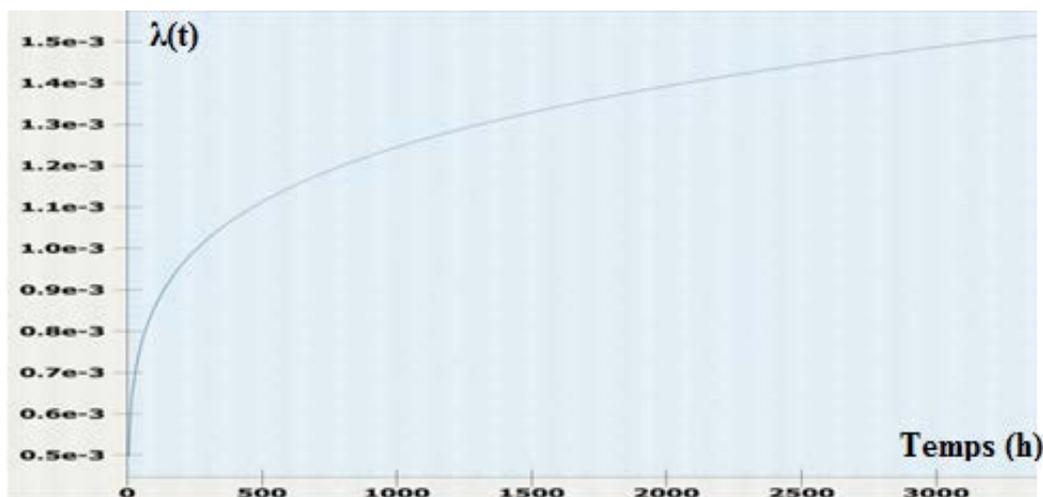


Figure 5.14. Taux de défaillance (méthode numérique)

La figure 5.15 représente la densité de défaillance.

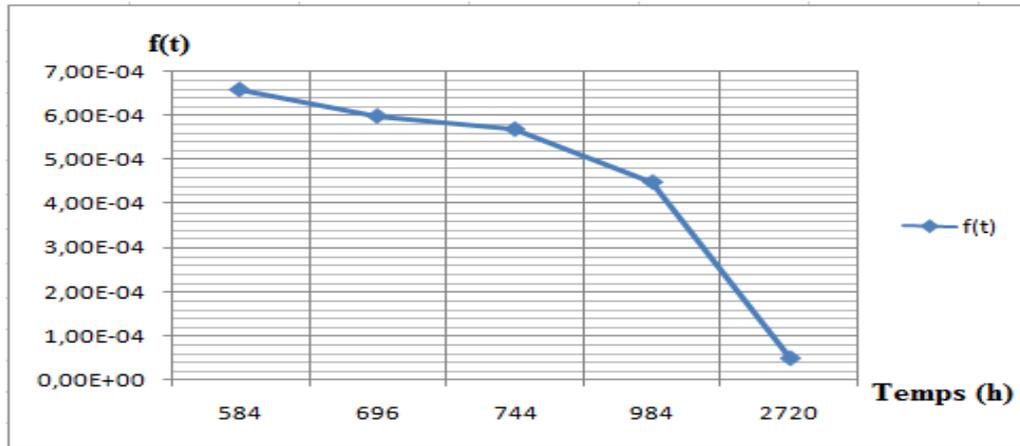


Figure 5.15. Densité de défaillance

La figure 5.16 représente la densité de défaillance par la méthode numérique.

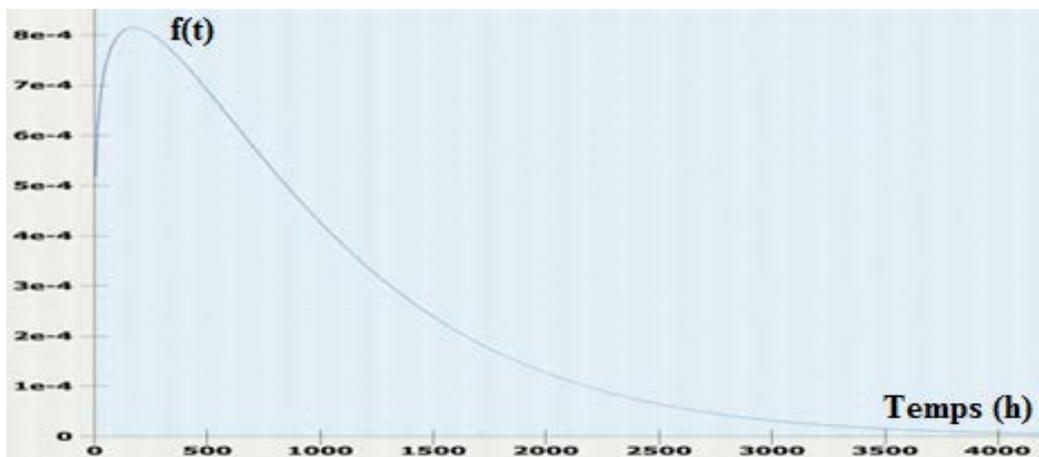


Figure 5.16. Densité de défaillance (méthode numérique)

La courbe de la densité de défaillance est représentée dans la figure 5.14 :

La courbe (5.14) représente la densité de défaillance confirmée par la méthode numérique. On note que la fonction $f(t)$ de l'organe étudié donne une bonne corrélation avec le modèle de Weibull modèle de $\beta=1.161$, et que la densité de la probabilité de défaillance confirme notre résultat de la moyenne des temps de bon fonctionnement MTBF qui est égale à 884,54 heures.

Au cours de notre étude nous avons constaté que :

a. Le paramètre β est supérieur à un (1), donc le disque de frein du système freinage est en période de vieillissement.

b. Le taux de défaillance λ est croissant en fonction du temps, et montre bien que l'organe étudié subit une défaillance, ce qui est confirmé bien la valeur du paramètre de forme ($\beta=1.2$).

c. La valeur du MTBF est autours de 884,54 heures.

Conclusion

Le travail présenté dans ce chapitre nous a permis d'analyser les types des défaillances , de déterminer l'organe le plus critique, et aussi le type de la maintenance adéquate pour le bon entretien et le bon suivi des équipements du parc roulant de l'Inter entreprise.

Le choix de notre étude a été porté sur le système freinage des deux (2) camions (MERCEDES TR001 AQ) et (MERCEDES PLB001). Grâce à la détermination des paramètres de fiabilité des équipements sélectionnés par la méthode d'analyse utilisée en fiabilité, on a déduit que le disque de frein est l'organe critique dans le système freinage, qui a un degré criticité de 36, ce qui suit la norme X 60510 de criticité. Comme conclusion, il est recommandé de revoir la conception et la matière de ce système.

L'étude de fiabilité réalisée sur l'organe critique (disque de frein) montre que nous sommes en face d'un organe en phase de vieillissement par fatigue décrit par le modèle de Weibull de paramètres ($\beta = 1,2$, $\eta = 941$ h, $\gamma = 0$).

Le résultat obtenu par l'utilisation de « l'abaque de NOIRET » nous permet de prendre une décision rapide sur le type de la maintenance à appliquer, ceci a été confirmé par notre analyse. Donc on prévoit comme premier résultat de faire un suivi par une maintenance conditionnelle et des visites afin de détecter l'indice de fatigue du disque de frein et surveiller la dégradation de cet équipement.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le travail présenté dans ce mémoire nous a permis d'évaluer la fiabilité des équipements industriels du parc roulant et leur optimisation par des outils graphiques et numériques. Il n'y a pas des méthodes normalisées pour calculer la fiabilité des systèmes et par conséquent le choix de la méthode à appliquer pour ce type d'équipement se fait en fonction de l'état de l'équipement, des moyens disponibles et des données recueillies.

Durant notre travail, nous avons étudié et appliqué les principales lois utilisées en fiabilité ainsi que les différentes méthodes développées pour déterminer les paramètres de dégradation qui caractérisent le degré de défaillance. Ce qui nous a permis une meilleure implication dans la tâche d'investigation sur les défaillances des équipements. Nous avons utilisé quelques méthodes de gestion de la maintenance, tel que Pareto, Abaque de Noiret et AMDEC, qui nous ont permis de caractériser correctement notre analyse sur les défaillances au niveau du parc roulant (groupe kherbouche).

Cette étude permet par la suite de bien suivre l'évolution de l'état des équipements afin de choisir correctement le type de la maintenance à appliquer, nous avons pu relever les quatre facteurs essentiels pour le calcul des indices de la fiabilité :

- Le taux de défaillance ; car en maintenance le taux de défaillance est une fonction complexe dans chaque phase de la vie de l'équipement.
- Le recueil des données est souvent difficile pour des conditions opérationnelles: Il dépend essentiellement de l'organisation et la gestion de la maintenance afin de bien exploiter les données historiques des équipements.
- Les origines des défaillances qui sont particulièrement complexes ce qui complique leur détection.
- La méthode d'analyse des défaillances dont les systèmes sont de plus en plus compliquées.

Finalement, après les études et les analyses, on a déduit que le disque de frein est le plus critique et influe directement sur les coûts de la maintenance dans le parc roulant en général. La direction de la maintenance au niveau de l'inter entreprise aura donc un outil très efficace pour le suivi des équipements du parc et pour l'analyse de leurs degrés de dégradation.

En termes de perspective, nous envisageons la détermination des paramètres de fiabilité et la période optimale de maintenance préventive par un code de calcul évolué qui permet d'orienter

directement le type de maintenance en fonction des données recueillies. Ce qui permet de traiter beaucoup plus de données dans un délai très court et de mettre en place une maintenance prévisionnelle gérée par modélisation et simulation numérique.

Et d'après ce que j'ai constaté au sein de l'entreprise et suite à ce travail effectué, je vous propose quelques solutions pour minimiser les problèmes cités auparavant :

- La pièce de rechange doit être d'origine et non pas équivalente.
- Le service maintenance doit faire partie de la commission d'achat du matériel afin de faire le bon choix (coté qualité et maintenance).
- L'achat du matériel ne doit pas se faire seulement par rapport au prix mais aussi par rapport à la qualité et la disponibilité de la pièce de rechange.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] http://www.geniemeca.fpms.ac.be/Recherche/recherche_fiabilite.htm.
- [2] Afnor 1998, fiabilité-maintenabilité-disponibilité, recueil des normes françaises, Afnor 1998.
- [3] S. Benissaad, Cours de maintenance industrielle, Tec 336, 2008
- [4] H.P. Ramella. Maintenance des turbines à vapeur. Techniques de l'ingénieur, Référence BM4186. 2002.
- [5] F. Monchy, J. P. Vernier, méthodes et organisations pour une meilleure productivité. Edition Dunod, Paris 2012, ISBN 978-2-10-057967-9.
- [6] I.W Bur, Statistical quality control methods. Marcel Dekker, 1976.
- [7] François Monchy, « la fonction maintenance : formation à la gestion de la maintenance industrielle », paris, Masson, 1996.
- [8] F. Monchy. Maintenance Méthodes et Organisations, 2eme édition. Paris: Dunod (2003).
- [9] M. Aidi, gestion coopératives des objectifs de simulation de produits industriels ; Colloque IPI Autrans 22-23 janvier 2004.
- [10] C. A, Benedetti. Introduction à la gestion des opérations (4e éd). Québec: Sylvain Ménard. 2002.

- [11] A. Hoyland .and M. Rausand, System Reliability Theory - Models and Statical Methods, Wiley Series in Probability and Mathematical Statistics - (2nd ed.), Wiley, Hoboken, 2004.
- [12] Pierre Chapouille, Fiabilité, maintenabilité, Techniques de l'Ingénieur, T 4300, 2007.
- [13] Julie Berthon, Nouvelle approche de la fiabilité opérationnelle, Thèse de doctorat de l'Université de Bordeaux I, 2008.
- [14] H. Procaccia, E. Ferton, and M. Procaccia., Fiabilité et maintenance des matériels industriels réparables et non réparables. Edition Lavoisier, 2011.
- [15] Patrick Lyonnet, La maintenance mathématique et méthodes, Troisième édition, Paris, 1992.
- [16] <http://www.iae.univ-lille1.fr/project/mdp/Method/M5.htm>
- [17] http://www.axess-qualite.fr/outils-qualite_m.html
- [18] X. Zwingmann. Modèle d'évaluation de la fiabilité et de la maintenabilité au stade de la conception, thèse de doctorat en Génie Mécanique. Québec, 2005.
- [19] www.memoirepfe.fst-usmba.ac.ma/get/pdf/771
- [20] CRTA. La Gestion de Production au sein de l'entreprise. Maintenance l'abaque de Noiret, pages : 2-3-8.
- [21] M.Bouanaka, M Chaib, M Bellaouar, « La maintenance basée sur la fiabilité », science & technologie B – N0 31, pp. 35-40
- [22] Inter@groupekherbouche.com