

## Table des matières

REMERCIEMENTS .....	I
DÉDICACE.....	III
RÉSUMÉ.....	IV
<b>TABLE DES MATIÈRES .....</b>	<b>VI</b>
<b>LISTE DES FIGURES .....</b>	<b>X</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX.....</b>	<b>XII</b>
<b>LISTE DES SYMBOLES.....</b>	<b>XIII</b>
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	2
<b>Chapitre 1 : présentation de l'entreprise</b>	
1.1. Généralités sur les entreprises de textile.....	5
1.2. Situation géographique et objet.....	5
1.3. Historique.....	6
1.4. Activités du complexe.....	7
1.5. Certification.....	8
1.6. Plan de Masse du Complexe.....	8
1.7. Organigramme de complexe.....	9
1.8. Organigramme de la Direction Maintenance.....	10
1.9. Processus de transformation.....	11
1.9.1. Département de filature.....	11
1.9.1.1. Section préparation.....	11
1.9.1.2. Section filature.....	15
1.9.1.3. Section bobinage.....	15
1.9.2. Département de tissage.....	15
1.9.2.1. Section préparation.....	16
1.9.2.2. Hall de tissage.....	17
1.9.3. Département de finition.....	18
1.10. Conclusion.....	19

---

**Chapitre 2 : Maintenance des équipements industriels**

2.1. Introduction.....	21
2.2. Description de la maintenance.....	21
2.2.1. Définitions.....	21
2.2.2. Objectifs de la maintenance.....	22
2.2.3. Stratégie de la maintenance .....	22
2.2.4. Importance de la maintenance .....	23
2.3. Service maintenance dans l'entreprise.....	23
2.3.1. Organisation du service maintenance.....	23
2.3.1.1. Service maintenance centralisé.....	23
2.3.1.2. Service maintenance décentralisé.....	24
2.3.2. Position de la maintenance dans le complexe.....	25
2.4. Politiques de maintenance .....	25
2.4.1. Maintenance corrective.....	26
2.4.1.1. Maintenance curative.....	27
2.4.1.2. Maintenance palliative.....	27
2.4.2. Maintenance préventive.....	28
2.4.2.1. Maintenance préventive systématique.....	29
2.4.2.2. Maintenance préventive prévisionnelle .....	30
2.4.2.3. Maintenance préventive conditionnelle .....	30
2.5. Opérations de maintenance .....	31
2.5.1. Opérations de la maintenance corrective .....	31
2.5.2. Opérations de la maintenance préventive.....	32
2.6. Classification des tâches de la maintenance.....	33
2.7. Caractéristique des activités de maintenance.....	34
2.8. Conclusion.....	35

**Chapitre 3 : Stratégies de la maintenance**

3.1. Introduction.....	37
3.2. Généralités sur la fiabilité.....	37
3.2.1. Définition selon la norme (AFNOR X06-501).....	37
3.2.2. Durée de vie.....	37
3.2.3. Fonction de la fiabilité.....	37
3.2.4. Fonction de répartition.....	38
3.2.5. Fonction de densité de probabilité.....	38

---

3.2.6. Taux de défaillance.....	39
3.2.7. Loi de Weibull.....	41
3.3. Différentes grandeurs en maintenance.....	42
3.3.1. Moyenne des temps de bon fonctionnement « MTBF ».....	42
3.3.2. Moyenne des temps techniques de réparation « MTTR ».....	42
3.3.3. Moyenne des temps techniques d'arrêt « MTTA ».....	43
3.4. Relation entre la maintenance et la fiabilité.....	43
3.5. Plan de maintenance.....	44
3.5.1. Définition d'un plan de maintenance.....	44
3.5.2. Objectifs visés d'un plan de maintenance.....	44
3.5.2.1. Améliorer la fiabilité du matériel.....	44
3.5.2.2. Garantir la qualité des produits.....	44
3.5.2.3. Assurer la sécurité humaine.....	45
3.5.2.4. Améliorer la gestion des stocks.....	45
3.5.2.5. Améliorer le climat des relations humaines.....	45
3.5.2.6. Sécurité.....	45
3.5.2.7. Fiabilité.....	45
3.5.2.8. Production .....	45
3.5.3. Méthodes et moyens d'établissement d'un plan de maintenance.....	45
3.5.3.1. Documents techniques des constructeurs.....	46
3.5.3.2. Documents techniques des constructeurs.....	46
3.5.3.3. Analyse historique.....	46
3.5.3.4. Experiences professionnelles.....	47
3.6. Techniques de mesure en diagnostic.....	48
3.6.1. Analyse vibratoire .....	48
3.6.2. Analyse thermographique .....	48
3.6.3. Analyse des lubrifiants .....	49
3.7. Diagramme de Pareto.....	50
3.8. Analyse par (AMDEC).....	50
3.8.1. Avantages de la méthode AMDEC.....	52
3.8.2. Mise au point de la méthode AMDEC.....	52
3.8.3. Analyse fonctionnelle.....	53
3.8.4. Analyse de défaillance.....	53
3.8.5. Critères.....	54

3.8.6. Mesures.....	56
3.9. Méthode de l'Abaque de Noiret.....	57
3.9.1. Utilité.....	57
3.9.2. Principe.....	57
3.10. Conclusion.....	58
<b>Chapitre 4 : Optimisation de la maintenance des équipements au niveau de l'atelier de filature</b>	
4.1.Introduction.....	60
4.2.Découpage de l'entreprise.....	60
4.2.1. Classification du matériel.....	61
4.3.Analyse par la méthode PARETO.....	61
4.3.1. Construction du diagramme de Pareto.....	62
4.3.1.1. Par le coût indirect.....	62
4.3.1.2. Par le coût direct.....	63
4.3.2. Découpage de section cardage.....	64
4.3.3. Construction du diagramme de Pareto des équipements de la section cardage...65	
4.4.Analyse par la méthode de l'Abaque de Noiret.....	68
4.5. Diagnostic par l'AMDEC.....	69
4.5.1. Analyse du système.....	69
4.5.2. Tableau de cotation.....	69
4.5.3. AMDEC de la machine card N°9.....	69
4.5.4. Classement les résultants de criticité.....	70
4.6. Détermination des paramètres de fiabilité des organes sélectionnés.....	71
4.6.1. Cas de la machine card .....71	
4.6.2. Analyse des résultats théoriques .....73	
4.7.Analyse des résultats trouvés.....	76
4.8. Conclusion.....	77
<b>Conclusion Générale.....</b>	<b>78</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>80</b>
<b>Webographie.....</b>	<b>82</b>

## Liste des figures

	Page
<b>Figure 1.1.</b> Plans du la masse du complexe DENITEX.....	8
<b>Figure 1.2</b> Organigramme du complexe DENITEX.....	9
<b>Figure 1.3.</b> Organisation de la direction de maintenance.....	10
<b>Figure 1.4.</b> Machine batteuse .....	12
<b>Figure 1.5.</b> Compartiments de la chargeuse automatique .....	12
<b>Figure 1.6</b> Machine de Carde.....	13
<b>Figure 1.7.</b> Machine d'étirage.....	14
<b>Figure 1.8.</b> Machine de bancs à broches.....	14
<b>Figure 1.9.</b> Machine de bobinage .....	15
<b>Figure 1.10.</b> Machine d'ourdissoir.....	16
<b>Figure 1.11.</b> L'encolleuse.....	17
<b>Figure 1.12.</b> Tissus teints.....	19
<b>Figure 2.1.</b> Objectifs de la maintenance .....	22
<b>Figure 2.2.</b> Situation du service maintenance .....	24
<b>Figure 2.3</b> Position de la maintenance dans l'organigramme .....	25
<b>Figure 2.4.</b> Différentes politiques de maintenance .....	26
<b>Figure 2.5.</b> Maintenance corrective.....	26
<b>Figure 2.6.</b> Maintenance curative .....	27
<b>Figure 2.7.</b> Maintenance palliative.....	28
<b>Figure 2.8.</b> Intervention préventive.....	29
<b>Figure 2.9.</b> Intervention préventive systématique.....	29
<b>Figure 2.10.</b> Schématisation de la maintenance prévisionnelle .....	30
<b>Figure 2.11.</b> Intervention préventive conditionnelle .....	31
<b>Figure 2.12.</b> Fréquence des interventions de maintenance en fonction du coût.....	34
<b>Figure 3.1.</b> Courbes paramétriques de la fiabilité.....	39
<b>Figure 3.2.</b> Densité de durée de vie .....	39
<b>Figure 3.3.</b> Taux de défaillance.....	40
<b>Figure 3.4.</b> Phases d'une intervention corrective.....	42
<b>Figure 3.5.</b> Impact de la maintenance sur la fiabilité des équipements.....	43
<b>Figure 3.6.</b> Etablissement du plan de maintenance.....	47
<b>Figure 3.7.</b> Principe de l'analyse thermographique.....	49

<b>Figure 3.8.</b> Courbe de Pareto.....	51
<b>Figure 3.9.</b> Diagramme Ishikawa.....	54
<b>Figure 4.1</b> Découpage de l'entreprise .....	60
<b>Figure 4.2.</b> Découpage de l'atelier Filature .....	61
<b>Figure 4.3.</b> Diagramme de Pareto des coûts indirects .....	63
<b>Figure 4.4.</b> Diagramme de Pareto des coûts directs .....	64
<b>Figure 4.5</b> Représentation de la section de cardage .....	64
<b>Figure 4.6.</b> Diagramme de Pareto de section cardage.....	66
<b>Figure 4.7.</b> Diagramme de Pareto des équipements de la ligne 1.....	67
<b>Figure 4.8.</b> Abaque de Noiret .....	68
<b>Figure 4.9.</b> Image d'une goupille .....	71
<b>Figure 4.10.</b> Détermination graphique de la droite de Weibull .....	72
<b>Figure 4.11.</b> Détermination numérique de la droite de Weibull .....	73
<b>Figure 4.12.</b> Fonctions F(t) graphique .....	74
<b>Figure 4.13.</b> Fonctions F(t) numérique.....	74
<b>Figure 4.14.</b> Fonctions de fiabilité graphique.....	74
<b>Figure 4.15.</b> Fonction de fiabilité numérique.....	74
<b>Figure 4.16.</b> Fonction f (t) graphique.....	75
<b>Figure 4.17.</b> Fonction f (t) numérique.....	75
<b>Figure 4.18.</b> Fonction $\lambda(t)$ graphique .....	75
<b>Figure 4.19.</b> Fonction $\lambda(t)$ numérique.....	75
<b>Histogramme 4.1</b> Classement les résultants de criticité.....	70

Liste des tableaux	Page
<b>Tableau 1.1.</b> Effectif du personnel DENITEX.....	5
<b>Tableau 2.1.</b> Ressources nécessaires pour chaque niveau de maintenance.....	33
<b>Tableau 3.1.</b> Exemple de AMDEC (moyen de production).....	52
<b>Tableau 3.2.</b> Critère gravité.....	55
<b>Tableau 3.3.</b> Critère d'occurrence.....	55
<b>Tableau 3.4.</b> Critère de non détection.....	56
<b>Tableau 3.5.</b> Critère de criticité.....	56
<b>Tableau 4.1.</b> Classement des ateliers par coût indirect.....	62
<b>Tableau 4.2.</b> Classement des ateliers par coût direct.....	63
<b>Tableau 4.3.</b> Classement des équipements de la section cardage.....	65
<b>Tableau 4.4.</b> Classement des lignes équipements de la section cardage.....	65
<b>Tableau 4.5.</b> Classement des équipements de ligne 1 de cardage.....	66
<b>Tableau 4.6.</b> Grille de cotation.....	69
<b>Tableau 4.7.</b> AMDEC de la machine Carde« partie électrique ».....	69
<b>Tableau 4.8.</b> AMDEC de la machine Carde « partie mécanique ».....	70
<b>Tableau 4.9.</b> Préparation des données .....	71
<b>Tableau 4.10.</b> Tableau des résultats.....	73
<b>Tableau 4.11.</b> Tableau de coût financier de la goupille.....	77

## Liste des symboles

AMDEC	Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité
MTBF	Mean Time Between Failures (Moyenne des temps de bon fonctionnement) [heure]
OMF	Optimisation de la Maintenance par la Fiabilité
MBF	Maintenance Basée sur la Fiabilité
MTTR	Mean Time To Repair (Moyenne des Temps Techniques de Réparation)[heure]
MTTA	Mean Time of To Arrival (Moyenne des Temps Techniques d'Arrêt) [heure]
TBF	Temps de bon fonctionnement avant la première défaillance. [heure]
$\lambda(t)$	Taux de défaillance. [%]
$\mu(t)$	Taux de réparation. [%]
$N(t)$	Nombre des survivants à l'instant $t$
$F(t)$	Fonction de répartition [%]
$N$	Nombre d'éléments défectueux
$R(t)$	Fiabilité au temps $(t)$ [%]
$T$	variable aléatoire caractérisant l'instant de défaillance du dispositif [heure]
$\mu$	Densité de probabilité d'une loi normale de moyenne
$t$	Temps (heure)



$\beta$	Paramètre de forme de "Weibull"
$\eta$	Paramètre d'échelle de "Weibull"
$\gamma$	Paramètre de position de "Weibull"
G	Indice de la gravité
F	Indice de la fréquence
D	Indice de la détection
C	Indice de la criticité
BAB	Bancs à broches
Nm	Numéros métriques
CAF	Continu à Filer
OE	Open End
C.D.D	Contrat à Durée Déterminée
C.T.A	Contrat de Travail Aidé
DAIP	Dispositif d'Aide l'Insertion Professionnelle
SPA	Société Par Action

# **INTRODUCTION GÉNÉRALE**

## Introduction générale

La maintenance industrielle, a pour vocation d'assurer le bon fonctionnement des outils de production, est une fonction stratégique dans les entreprises, elle est intimement liée à au développement technologique, à l'apparition des nouveaux modes de gestion, à la nécessité de réduire les coûts de production et elle est en constante évolution. La maintenance n'a plus aujourd'hui comme seul objectif de réparer l'outil de travail mais aussi de prévoir et éviter les dysfonctionnements. Ainsi, la recherche des performances des systèmes de production est devenu complexe, elle mène à la fonction de maintenance qui est responsable de la garantie et de la disponibilité de tels système. Cette garantie doit être assurée dans des conditions financières optimales. En effet, la concurrence est devenue de plus en plus rude, voire farouche et toutes les entreprises sont tenues à appliquer la maintenance grâce aux objectifs qu'elle présente :

- Assurer la production
- Maintenir le niveau la qualité du produit fabriqué
- Respecter les délais
- Respecter les objectifs humains : conditions de travail et de sécurité
- Préserver l'environnement.

Dans ce contexte, l'élaboration d'un plan de maintenance s'impose pour atteindre les objectifs prescrits avec des coûts optimaux. Cette politique de maintenance exige la maîtrise et l'optimisation des processus et des activités de production.

Le département production de l'atelier de filature a bien compris cette politique. En effet, avant de proposer l'élaboration d'un plan de maintenance, il a été question de faire une mise à jour des fiches techniques des machines. Comme l'outil de production comporte plusieurs processus et activités, on ne peut pas le forcer en plus de sa capacité. Il convient donc d'identifier ceux qui sont critiques et sur lesquels il faut agir en priorité. C'est ainsi que cette priorité a été réservée aux équipements critiques. Dans ce projet de fin d'études, nous proposons une méthode d'élaboration d'un plan de maintenance basé sur l'analyse de la fiabilité et sur une analyse fonctionnelle, type Pareto et AMDEC. Ainsi, notre travail sera divisé en quatre chapitres et il sera réparti comme suit :

Dans le premier chapitre, nous présenterons une généralité sur les entreprises de textile, et précisons le complexe DENITEX-Sebdou, ainsi que ses activités et ses processus de fabrication qui commencent par l'atelier de filature jusqu'à l'atelier de finissage.

Dans le second chapitre, nous rappellerons certains concepts de maintenance, non seulement pour introduire certaines définitions, mais également pour mettre en évidence l'ampleur de l'effort nécessaire pour mettre en place un système de maintenance.

Le troisième chapitre, est consacré aux différentes méthodes de diagnostic de la maintenance qu'on va appliquer au niveau du complexe DENITEX- Sebdou, ainsi nous introduirons les concepts de fiabilité, de défaillance, et la durée de vie (MTBF) des équipements mécaniques et un nouveau outil qui est la méthode de Noiret .

Enfin, dans le dernier chapitre on met en application les méthodes décrites dans les chapitres précédents, pour une étude des cas pratiques sur un équipement stratégique de l'atelier de préparation de filature du complexe DENITEX. On va débiter par la méthode ABC pour déterminer l'équipement le plus sensible de l'atelier, en suite, on fera une optimisation par la méthode AMDEC sur l'équipement déterminé afin de trouver l'organe crucial, et pour cela on déterminera les paramètres de fiabilité et la type de la maintenance à appliquée. On dernier lieu on interprète les résultats et propose des suggestions.

# **CHAPITRE 1**

## **PRÉSENTATION DE L'ENTREPRISE**

## **CHAPITRE 1. PRÉSENTATION DE L'ENTREPRISE**

### **1.1. Généralités sur les entreprises de textile**

L'industrie de textile rassemble l'ensemble des activités de conception, de fabrication et commercialisation des textiles et donc, entre autres, de l'habillement. Cette industrie compte de très nombreux métiers tout au long d'une chaîne de fabrication composée des fabricants de tissus, des fabricants de produits finis et de distributeurs, qui transforment des matières premières fibreuses en des produits semi-ouvrés ou entièrement manufacturés. Les fabricants de fibres naturelles et de fibres synthétiques interviennent en amont, et donc en dehors, de cette chaîne. Au XXI<sup>e</sup> siècle, les produits textiles sont pour l'essentiel des biens de consommation. Les vêtements de prêt-à-porter représentent une partie importante et connue de ce secteur.

### **1.2. Situation géographique et objet**

Le complexe de Textile « DENITEX-SEBDOU » est implanté dans la zone industrielle de la ville de SEBDOU, il est situé à 37 Km sud-ouest de la wilaya de TLEMCEM.

Il est composé de 13 secteurs, sa superficie est de 16.9 Hectares dont 6.9 Hectares bâtis. Le complexe textile du SEBDOU est une société industrielle qui a pour objet la transformation du coton fibre en articles confectionnés à travers plusieurs processus allant de la filature jusqu'à la confection de vêtements pour le marché national. L'effectif global du personnel de l'entreprise est de 744 salariés le 30 novembre 2015, voir tableau 1.1 :

**Tableau 1.1.** Effectif du personnel DENITEX

<b>Catégorie</b>	<b>Permanant</b>	<b>C.D.D</b>	<b>C.TA</b>	<b>DAIP</b>	<b>TOTAL</b>
<b>Cadres</b>	19	07	02	00	28
<b>Maitrise</b>	99	35	14	02	150
<b>Exécutions</b>	181	250	123	12	566
<b>Total</b>	299	292	139	14	744

### 1.3. Historique

Le projet du complexe industriel textile de Sebdou a été lancé en 1974 en tant qu'unité industrielle de la société nationale SONITEX. Après la restructuration organique de la société SONITEX en 1982, et suivant le décret n° 82-399 du 04 décembre 1982, le complexe Industriel Textile de Sebdou est devenu une unité de l'entreprise publique économique COTITEX. Sa mise en exploitation est intervenue au cours de l'année 1979, soit trente-sept (37) ans d'existence.

L'Entreprise des Industries Textiles, Société par actions, par abréviation DENITEX Spa est issue Du découpage de l'Entreprise des Industries Textiles Cotonnières de Sebdou "COTITEX SEBDOU", elle-même découlant de la restructuration de l'Entreprise Nationale des Industries Textiles Cotonnières "COTITEX" en date du 1er avril 1986.

Le complexe a été mis en service le 1<sup>er</sup> juin 1979, il est composé de 6 bâtiments :

- Filature
- Tissage
- Finissage
- Annexes Techniques
- Station Epuration des eaux
- Poste énergie électrique

Sa capacité de production théorique est

- Filature : 2000 tonnes /ans
- Tissage : 6000 mètres linéaires / ans
- Finissage : Traitement de toute la production.
- Production de 11 000 m3 d'eau destinée à l'irrigation. Régime de travail : 3 X 8
- Le chiffre d'affaires annuel de DENITEX est de 700 millions de DA en moyenne.

### 1.4. Activités du complexe

L'industrie de DENITEX a des activités de production des textiles de type, bleu jean gabardine, bleu de travail. Elle utilise les matières premières suivantes :

- Coton
- polyester
- Colorants
- Produits de fixation (les fixateurs)
- Détergents et autres produits chimiques

Le complexe de DENITEX Spa est une unité de production intégrée qui comprend diverses spécialités :

- Filature : production de fil simple et retors.
- Tissage : production de tissu écru.
- Finissage : production de tissu fini.
- Maintenance : l'entreprise dispose pour la maintenance de ses équipements d'un atelier mécanique (tournage, fraisage, soudure), d'un atelier électrique (rembobinage des moteurs), d'un atelier électronique et une équipe de spécialistes chapotée par le directeur de maintenance.
- Chaufferie et climatisation
- Traitement des eaux.
- Épuration des eaux : l'entreprise dispose de sa propre station d'épuration qui est fonctionnelle.
- Environnement : En juin 2008, un contrat de performance environnemental a été établi entre le Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'environnement et du tourisme et DENITEX Spa.
- Laboratoires physique et chimique : pour suivi de la qualité des produits et contrôle les différents paramètres à tous les stades du processus de production



Dans le domaine de l'hygiène, sécurité et environnement, l'entreprise s'engage à :

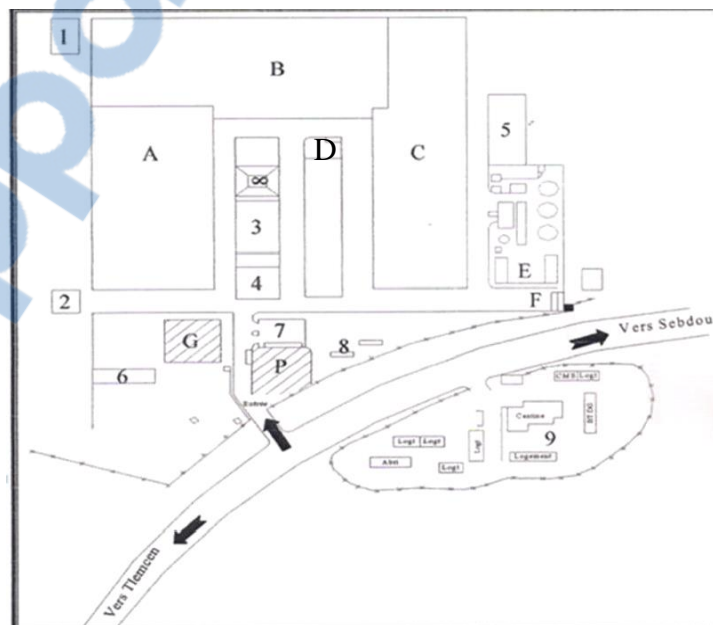
- La mise en œuvre de formations ciblant des postes de travail pour une plus grande efficacité dans le respect de l'environnement, des règles de santé, d'hygiène et de sécurité
- Le développement d'un environnement sain, propice à une implication maximale
- Une réactivité dans la prévention des non conformités et des impacts sur la santé, la sécurité et l'environnement.
- Un suivi et une écoute permanente de l'environnement externe : économique, législatif et social.
- La rationalisation des dépenses d'énergie et des ressources.

### 1.5. Certification

La certification de l'entreprise selon les normes ISO 9001 version 2000 du « Système Management Qualité » par le comité de certification LQS France est appliquée le 22/12/2008. La certification de l'entreprise selon les normes ISO 9001 version 2008 du « Système Management Qualité » par le comité de certification LQS France est appliquée le 06/12/2010.

### 1.6. Plan de Masse du Complexe

Ce plan montre bien les différentes structures du complexe



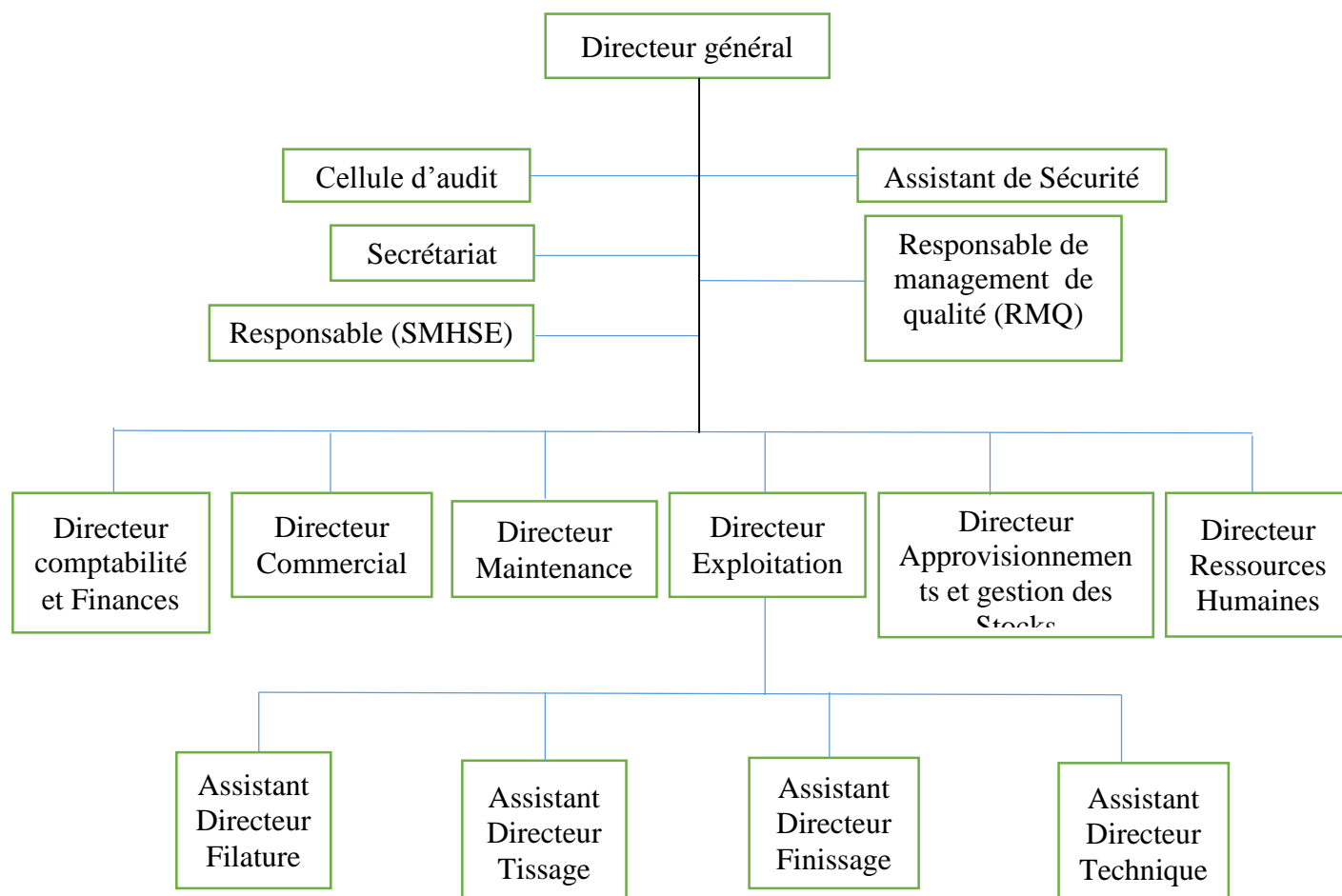
**Figure 1.1.** Plans du masse du complexe DENITEX

Légende :

- |  |                                       |
|--|---------------------------------------|
| A. Filature                                | 1. Atelier mécanique auto             |
| B. Tissage                                 | 2. Hangar produit chimique            |
| C. Finissage                               | 3. Abri stockage huiles.              |
| D. Annexe technique                        | 4. Cantine                            |
| E. Station de traitement d'épuration d'eau | 5. Abri produit chimique et chaux     |
| F. Transformateur HT/MT                    | 6. Abri pour véhicule lourds          |
| G. Administration                          | 7. Abri pour véhicule légers          |
| P. Parking                                 | 8. Campements ouvriers                |
|  | 9. Logements, GMS, Foyer et générale. |

### 1.7. Organigramme de complexe

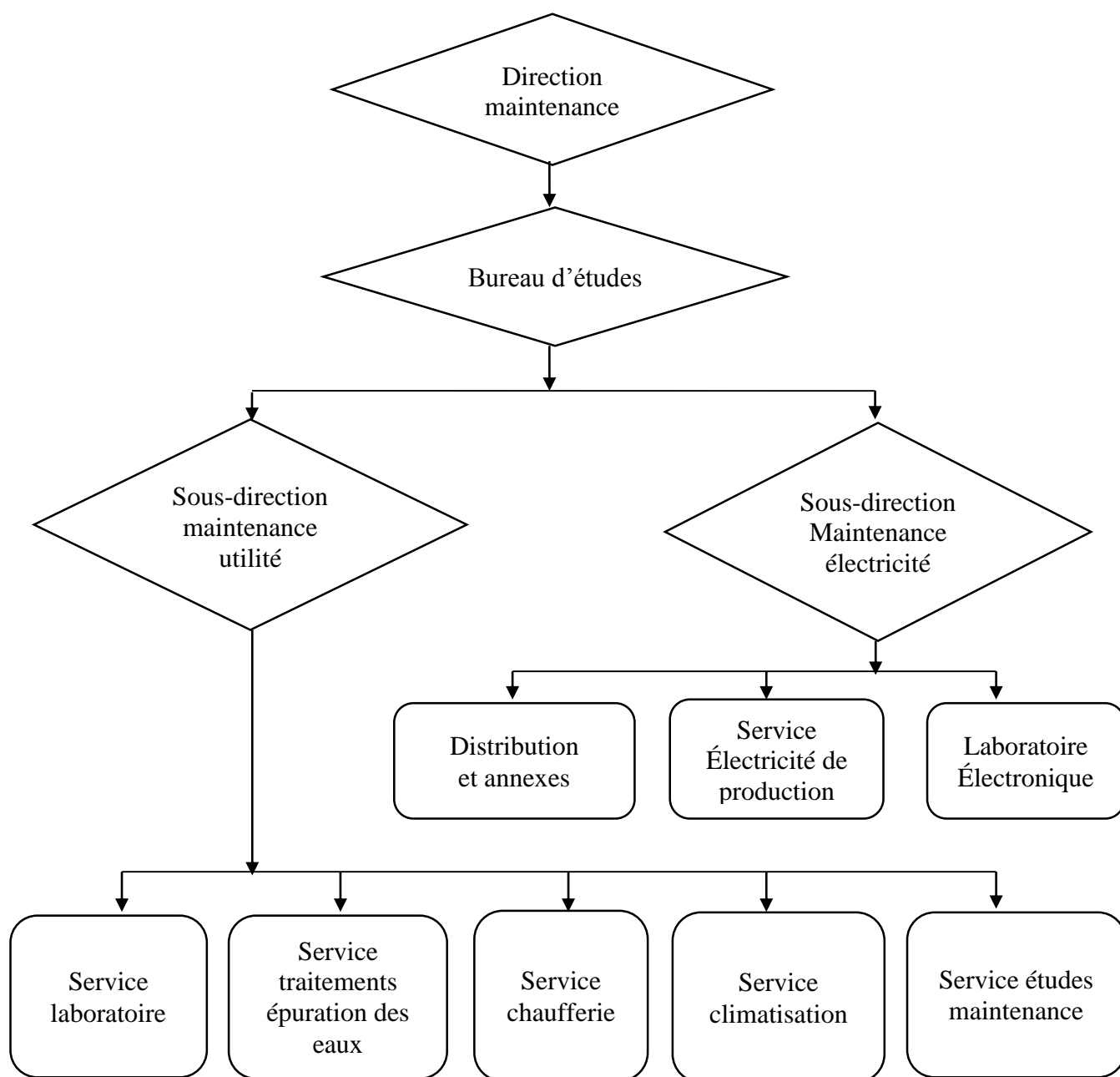
Cet organigramme montre les différentes directions de l'entreprise



**Figure 1.2.** Organigramme du complexe DENITEX

## 1.8. Organigramme de la Direction Maintenance

Cet organigramme montre les différentes structures de la direction de maintenance



**Figure 1.3.** Organisation de la direction de maintenance

---

## 1.9. Processus de transformation

La structure de l'entreprise où j'ai passé mon stage se subdivise en plusieurs départements de production dans lesquels nous avons passé une période dans le cadre de mon stage de projet de fin des études. Ces visites respectives des différents départements de l'usine nous ont permis une meilleure compréhension des multiples étapes intervenant dans les processus de production, d'évaluer la complémentarité de ces différents départements, d'avoir une idée générale des problèmes techniques de toute l'usine, après j'ai étudié mon thème en particulier.

### 1.9.1. Département de filature

La filature constitue le début de la chaîne de production dans l'usine. C'est le procédé qui transforme le coton libéré des balles de coton en fils de coton destinés à servir au tissage. Il produit une gamme variée de numéros métriques de fils allant de 12 à 40 Nm. Le processus de transformation du coton en bobines de fils se fait en trois sections : la préparation, la filature proprement dite et le bobinage.

#### 1.9.1.1. Section préparation

On distingue la grosse préparation qui va du battage à la carderie puis la petite préparation qui est constituée de l'étirage et du brochage.

##### ➤ Battage

Au battage, le coton est débarrassé de ses impuretés. Ces impuretés sont généralement des grains de coton de courtes longueurs. Deux procédures de battage sont normalement exploitables, conçues pour assurer indépendamment le battage.

Les balles de coton fibres de manière automatique par des mouvements de translations. Ce coton est ensuite chargé successivement dans six compartiments par un mono tambour où il subit une grande extraction d'impuretés. Des chargeuses, le coton passe successivement dans deux condenseurs batteurs qui poursuivent l'extraction des impuretés.

Ensuite, le coton est introduit manuellement et à petits coups par des ouvriers dans les chargeuses mélangeuses en évitant le plus possible leur bourrage. Les chargeuses mélangeuses ont pour rôle de mélanger les différentes variétés de coton. Des filtres à air reliés à ces chargeuses libèrent le coton en partie de ses déchets. Un tapis achemine le coton vers un transporteur qui le débarrasse de déchets magnétiques grâce à un aimant. Il va ensuite à un bloc constitué d'un condenseur, d'une ouvreuse inclinée et d'une ouvreuse horizontale.

Après avoir ouvert le coton, ces ouvreuses le libèrent des fibres trop courtes inutilisables. Ce bloc est également relié au filtre à air grâce à un système de ventilation.

Le coton est ensuite introduit successivement dans deux condenseurs tous reliés à des filtres à air, puis dirigé séparément vers deux batteuses 1 et 2 reliées aux lignes 1 à 4 du cardage.



**Figure 1.4.** Machine batteuse



**Figure 1.5.** Compartiments de la chargeuse automatique



### ➤ Cardage

Au cardage, le coton provenant du battage est transformé d'abord en voiles puis en rubans enroulés dans des pots. On distingue quatre lignes comportant chacune 10 à 12 cardes et reliées à un filtre rotatif qui extrait les déchets. Un système interne d'extraction de déchets permet aux cardes de libérer le coton des dernières impuretés.

Les cardes sont programmées pour s'arrêter après 4000 mètres de ruban, récupérés dans des pots avec une capacité nominale de 25kg/h.



**Figure 1.6.** Machine de cardage

### ➤ Etirage

C'est le début de la petite préparation. Il consiste en deux passages respectivement sur des machines à étirer. Il a pour but d'assurer le parallélisme des rubans provenant du cardage et les rend plus souples.

### ➤ Bac à broche

Les rubans souples étirés sont conduits au bac à broche pour y être transformés en mèches métriques variables suivant le réglage effectué sur la machine (ici 1250 m/bobine de 1 g/m). On dispose de douze bancs à broches dont onze opérationnels. Chaque banc comporte 108 broches.



**Figure 1.7.** Machine d'étirage

L'étirage c'est la phase avant le passage dans les bancs à broches



**Figure 1.8.** Machine de bancs à broches



### 1.9.1.2. Section filature

A la filature, les mèches de coton produites au brochage sont transformées en fils de numéros métriques variables de 12 à 40 par des machines continu à Filer (CAF) en leur donnant la torsion nécessaire. Cette torsion leur confère un poids précis suivant une longueur donnée. Ils peuvent ainsi passer de 1g/m à 1g/12m, de 1g/m à 1g/17m, de 1g/m à 1g/34m ou encore de 1g/m à 1g/40m.

### 1.9.1.3. Section bobinage

C'est la dernière étape de la filature. Les fuseaux de fil réalisés par les continu à filer (CAF) sont mis sous forme de bobines coniques de 2,5 kg par des noueuses et prêtes à servir au tissage. On dispose de noueuses de types manuel et automatique. Ces dernières sont conçues pour renouer automatiquement la bobine de fil à une cartouche nouvelle dès qu'une cassure de fil advient lors du bobinage, après avoir évacué l'ancienne cartouche.



**Figure 1.9.** Machine de bobinage

## 1.9.2. Département de tissage

C'est ici que prend forme le tissu proprement dit. Ce département s'occupe de la transformation des bobines de fil en tissus écrus, plats, éponges, mailles, toiles, sergés, satins et basins. Il est doté des machines dont l'empeignage est de 3,90m et ayant la possibilité de produire des tissus dont la laize (largeur) peut varier de 1,10m à 3,65m. Il dispose de 44 personnes.



La transformation des bobines de fils se fait en deux grandes sections : la préparation au tissage et le hall de tissage.

### 1.9.2.1. Section préparation

Elle est constituée de l'ourdissage, de l'encollage, du rentrage et du cannetage des fils à tisser.

#### ➤ Ourdissage

Une partie des bobines de fils provenant de la filature est installée sur des chariots d'une capacité de 560 bobines. Ces bobines sont défilées et soigneusement alignées sur un ourdissoir en fonction du nombre exact de fils que nécessite le tissu que l'on veut produire. Les fils sont ensuite mis en plusieurs rouleaux qui constituent des ourdis.



**Figure 1.10.** Machine d'ourdissoir

#### ➤ Encollage

À l'encollage, on superpose le nombre exact de rouleaux nécessaires à la production du tissu suivant la qualité escomptée, en amont d'une encolleuse, de manière à former une seule nappe de fils grâce à un dispositif appelé râtelier. Cette nappe est ensuite introduite dans un bac de colle afin de donner, aux fils qui la constituent, la résistance qui leur est nécessaire pour supporter les tractions lors de leur passage sur les métiers à tisser. La nappe encollée passe ensuite dans un séchoir et une zone de séparation. Une tête permet enfin d'enrouler à nouveau les tambours des fils de la nappe. Ces fils encollés constituent la chaîne du tissu écreu.



**Figure 1.11.** Machines encolleuses

➤ **Rentrage**

On y définit le type de tissu à produire, sa qualité et les motifs qui y figurent. Ces paramètres seront fonction du nombre de harnais qu'on préparera aux métiers, du nombre de lisses (lamelles minces) qu'elles porteront et de leur classement. Dans ces lisses passeront les fils encollés.

➤ **Cannetage**

Il consiste à préparer grâce à une machine, des cannettes de fil à partir des bobines afin qu'elles servent sur des métiers à navettes.

**1.9.2.2. Hall de tissage**

Les ensouples de fils encollés sont installées sur les métiers à tisser et les fils sont soigneusement disposés dans les harnais par les rentreurs. Ces rouleaux de nappes encollées constituent la chaîne du tissu. Le tissage se fait soit sur des métiers à navettes où la trame du tissu est réalisée par les cannettes de fils, soit sur des métiers à projectile où elle est réalisée par des bobines de fil.

### 1.9.3. Département de finition

Le département de finition s'occupe de la teinture des tissus écrus provenant du tissage. C'est le dernier traitement que subit le tissu avant la couture. Le processus de transformation des tissus écrus en tissus blanchis ou teints finis se fait en plusieurs étapes :

➤ **Flambage**

C'est la première opération que subit le tissu. Elle a pour but d'éliminer les duvets (petits poils sur le tissu) afin de le rendre totalement lisse. Mais la machine flambeuse étant en panne et cette étape n'étant pas absolument indispensable, elle n'est actuellement pas effectuée. Le tissu passe donc directement à l'étape suivante.

➤ **Désencollage**

Il consiste à libérer le tissu de la colle fournie aux fils par l'encolleuse. Il se fait par lavage sur une désencolleuse, ici pad roll. En effet, cette colle empêcherait d'une part une bonne adhésion entre la teinture et le tissu et provoquerait, d'autre part, sa déteinte précoce en se libérant avec la teinture dès que l'utilisateur du tissu le plongerait dans de l'eau. L'opération suivante est la caustification.

➤ **Caustification**

Cette opération consiste à donner une hydrophilie au tissu (absorption rapide de l'eau) et de l'affinité (adhésion) au colorant. Elle est ici réalisée grâce à la désencolleuse. Viens ensuite la teinture du tissu.

➤ **Teinture**

C'est l'art de donner une couleur au tissu. Plusieurs modes opératoires sont utilisables en fonction de la qualité du tissu et des colorants disponibles. Parmi elles, on peut citer les méthodes de colorants de cuivre (teinture par épuisement) et les méthodes de colorants réactifs (Pad batch et teinture par épuisement). Celle utilisée ici est la méthode Pad batch que nous présentons.

Elle se fait avec des colorants réactifs. On imprègne le tissu dans un mélange du colorant et d'un agent fixateur (alcali). La réaction dure deux à quatre heures. Un rinçage à 90° ou à 95° C permet ensuite d'éliminer les colorants qui par saturation de la matière, n'auraient pas été fixés.

Le tissu subit ensuite un séchage à la rame. On le fait passer dans une résine pour améliorer sa consistance au toucher. Il subit enfin la samphorisation pour l'empêcher de s'allonger ou de se rétrécir au lavage.



**Figure 1.12.** Tissus teints

### **1.10.Conclusion**

Les progrès techniques permettent d'élargir la gamme des tissus fabriqués par l'industrie textile et contribuent à améliorer la productivité. Il est essentiel cependant qu'ils soient aussi régis par des impératifs de sécurité, de santé et de bien-être du personnel. Quoi qu'il en soit, la mise en œuvre de ces avancées pose des problèmes dans les entreprises plus anciennes dont la viabilité financière est mal assurée et qui n'ont pas les moyens d'effectuer les investissements nécessaires. Il en va de même dans des régions en développement qui recherchent de nouvelles industries à tout prix, même au détriment de la sécurité et de la santé des travailleurs. Cependant, quelles que soient les circonstances, l'éducation et la formation du personnel devraient permettre de réduire considérablement les risques auxquels il est exposé.

# **CHAPITRE 2**

# **MAINTENANCE DES ÉQUIPEMENTS**

# **INDUSTRIELS**



## **CHAPITRE 2. MAINTENANCE DES ÉQUIPEMENTS INDUSTRIELS**

### **2.1. Introduction**

Longtemps, la maintenance été vue comme un mal nécessaire, aujourd'hui est devenue une réelle préoccupation dans les entreprises. Elle s'est affirmée 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 lorsqu'elle n'est pas identifiée comme une des activités principales de l'exploitation industrielle. L'objectif de ce chapitre est de mettre en relief la notion de maintenance, son importance et les différentes pratiques existantes selon la taille et la productivité de l'entreprise.

### **2.2. Description de la maintenance**

#### **2.2.1. Définitions**

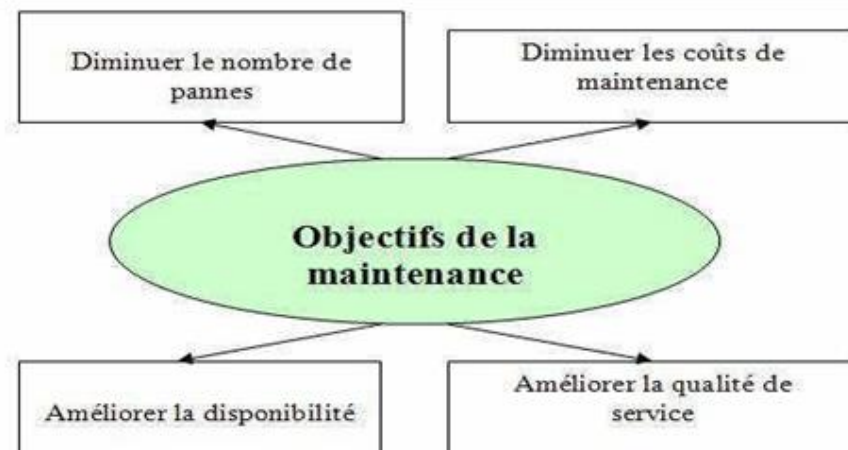
La maintenance ne consiste pas seulement à réparer ou dépanner au moindre coût ou remettre en état dans les plus brefs délais. Ce n'est pas non plus maintenir les installations en marche à tout prix ou assurer une sécurité de fonctionnement élevée, coûte que coûte, pour atteindre une disponibilité maximale mais non rentable. La maintenance commence dès la conception du matériel : il faut que cet équipement soit apte à être entretenu (notion de maintenabilité) et, apte à produire avec une utilisation aisée 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 performances, une surveillance des coûts et une disponibilité, en recherchant les solutions les plus simples. A la fin de vie du matériel, la maintenance propose d'abord une diminution des performances compatibles avec les possibilités du matériel et son renouvellement [1].

Il est possible aussi de condenser tout ceci dans la définition de l'AFNOR (Association Française de Normalisation) : «La maintenance est l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié en mesure d'assurer un service déterminé avec un coût optimal ».

### 2.2.2. Objectifs de la maintenance

Les objectifs de la maintenance sont schématisés dans la figure 2.1:

- Assurer la qualité et la quantité des produits fabriqués, tout en respectant les délais.
- Optimiser les actions de maintenance (exemple : réduire la fréquence des pannes).
- Contribuer à la création et le maintien de la sécurité au travail.
- Consolider la compétitivité de l'entreprise (exemple: améliorer la productivité) [2].



**Figure 2.1.** Objectifs de la maintenance [2].

### 2.2.3. Stratégie de la maintenance

La stratégie de la maintenance est une méthode de management utilisée en vue d'atteindre les objectifs demandés. Les choix de la stratégie de la maintenance permettent d'atteindre un certain nombre d'objectifs de maintenance [3].

- Développer, adapter ou mettre en place des méthodes de maintenance
- Élaborer et optimiser les gammes de maintenance
- Organiser les équipes de maintenance
- Internaliser et/ou externaliser partiellement ou totalement les tâches de maintenance
- Définir, gérer et optimiser les stocks des pièces de rechange et des consommables
- Étudier l'impact économique de l'outil de production en matière de productivité et de maintenabilité.

### **2.2.4. Importance de la maintenance**

La maintenance est importante pour l'industrie, ce qui paraît clair lors de l'occurrence des pannes provoquant des arrêts non planifiés [4]. Par conséquent, toute interruption au cours du fonctionnement des entreprises cause les pertes suivantes:

- Augmentation du coût de productions
- Diminution de la marge du profit
- Rupture du stock
- Retard des livraisons
- Ajout des heures supplémentaires
- Absence des sécurités des opérateurs

Donc, si on planifie et on prévoit des entretiens planifiés avant l'occurrence des pannes, on pourra surmonter ces conséquences. Pour ce faire, la partie suivante comprend des stratégies de maintenances.

## **2.3. Service maintenance dans l'entreprise**

### **2.3.1. Organisation du service maintenance**

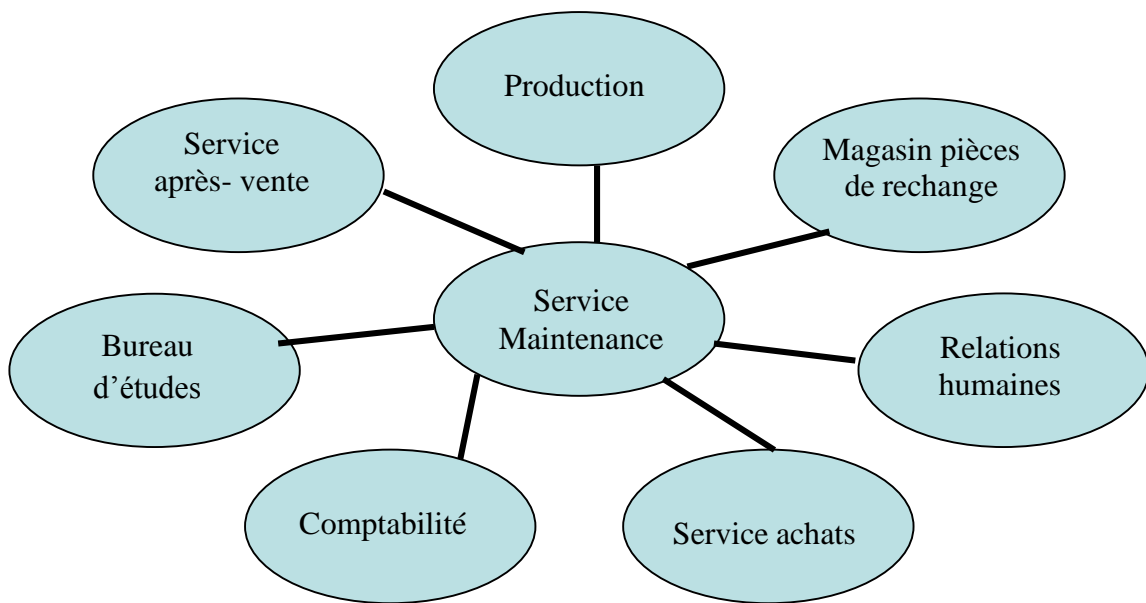
Selon la spécificité, et surtout la taille des entreprises, on distingue deux types d'organisation [1].

#### **2.3.1.1. Service maintenance centralisé**

La maintenance centralisée est assurée au niveau d'un seul service afin de :

- Faciliter le planning
- Avoir un budget unique
- Faciliter la surveillance
- Contrôler l'effectif de la main-d'œuvre
- Communication simplifiée avec les autres services de l'entreprise grâce à sa situation centralisée voir la figure 2.2.





**Figure 2.2.** Situation du service maintenance [1].

#### **2.3.1.2. Service maintenance décentralisé**

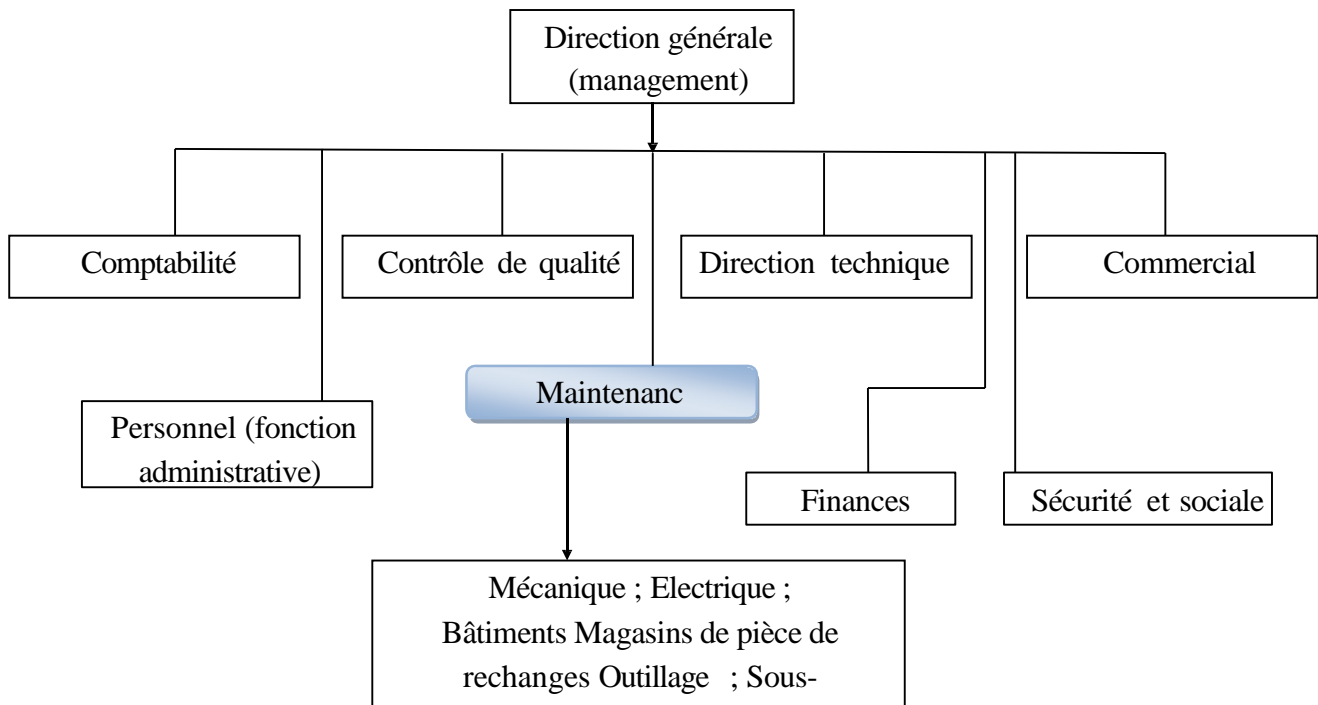
La décentralisation c'est la dépossession du service de maintenance de certaines responsabilités : c'est généralement la maintenance des équipements de fabrication qui passe sous le contrôle des services de production et de fabrication. Le service central de maintenance peut à la demande des services cités faire intervenir ses compétences pour l'accomplissement de certains travaux [1].

##### **Avantages :**

- Permet d'avoir de meilleures communications et relations avec les services
- Meilleure connaissance des matériels
- Gestion administrative allégée

### 2.3.2. Position de la maintenance dans le complexe

Ci-dessous l'organigramme de la position de la maintenance dans l'entreprise.



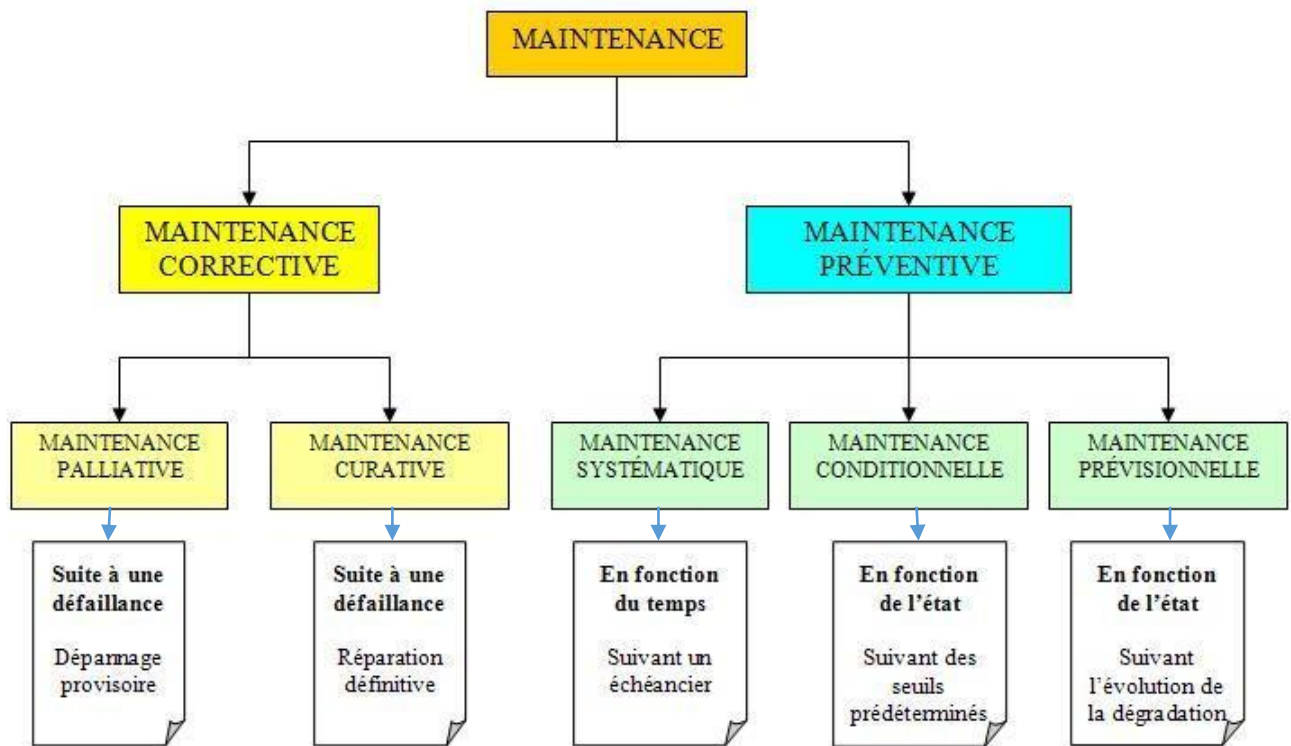
**Figure 2.3.** Position de la maintenance dans l'organigramme

### 2.4. Politiques de maintenance

La politique de maintenance peut être répertoriée en deux grandes catégories, la maintenance corrective et la maintenance préventive.

La maintenance corrective : est la maintenance qui intervient suite à la défaillance du système alors que la maintenance préventive est réalisée lorsque le système est encore en fonctionnement. Le recours à l'une ou à l'autre de ces politiques diffère suivant l'élément considéré mais aussi suivant le type de structure, la politique d'exploitation et de suivi, les coûts, la disponibilité de l'information, etc.

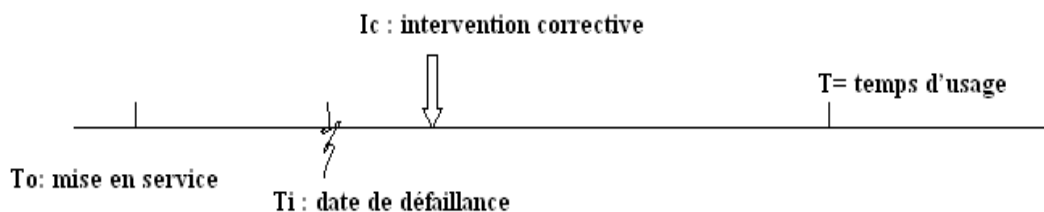
Dans la figure 2.4. nous présentons les différentes politiques suivant le type de maintenance étudiée. Alors que la mise en place des opérations correctives ne dépendent que de l'occurrence d'une panne [5].



**Figure 2.4.** Différentes politiques de maintenance [5].

#### 2.4.1. Maintenance corrective

La maintenance corrective (ou accidentelle) a pour objectif de rétablir le système après une défaillance (perte de la fonction requise) de manière à ce qu'il soit capable d'assurer à nouveau ses fonctions, figure 2.5. On peut distinguer deux types de maintenance corrective ; la maintenance curative et la maintenance palliative [5].



**Figure 2.5.** Maintenance corrective[5].

### 2.4.1.1. Maintenance curative

Ce type de maintenance permet de remettre définitivement en état le système après l'apparition d'une défaillance, figure 2.6. Cette remise en état du système est une réparation durable. Les équipements réparés doivent assurer les fonctions pour lesquelles ils ont été conçus. Une réparation est une opération définitive de la maintenance curative qui peut être décidée soit immédiatement à la suite d'une défaillance, soit après un dépannage, ce type de maintenance, provoque donc une indisponibilité du système [6].

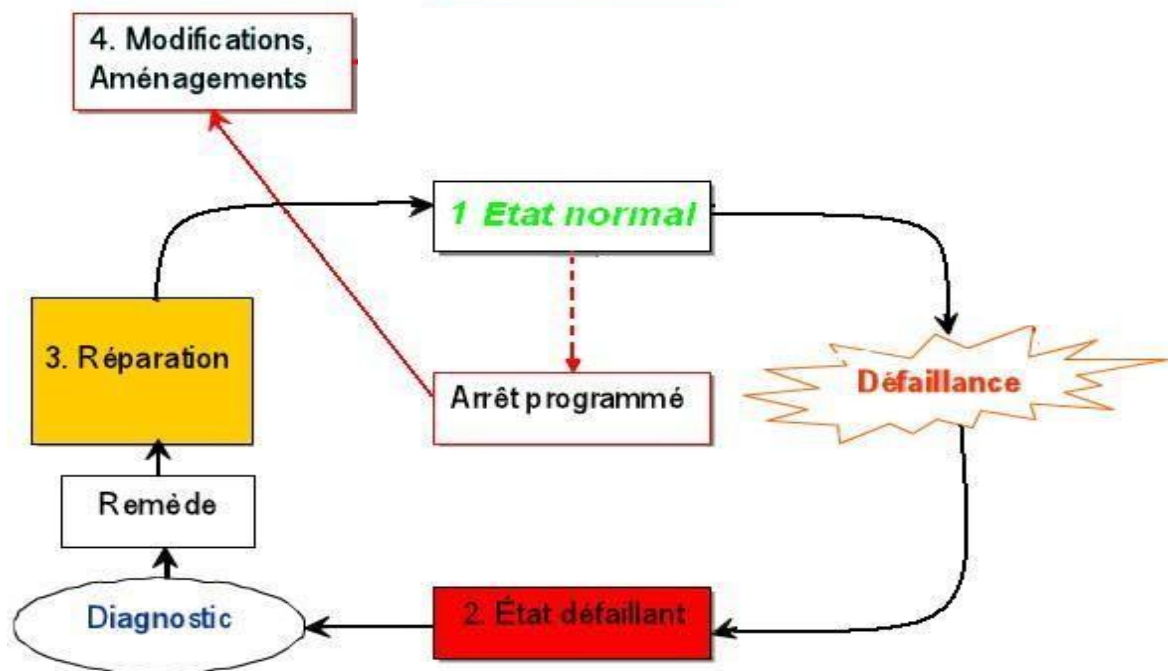


Figure 2.6. Maintenance curative [6].

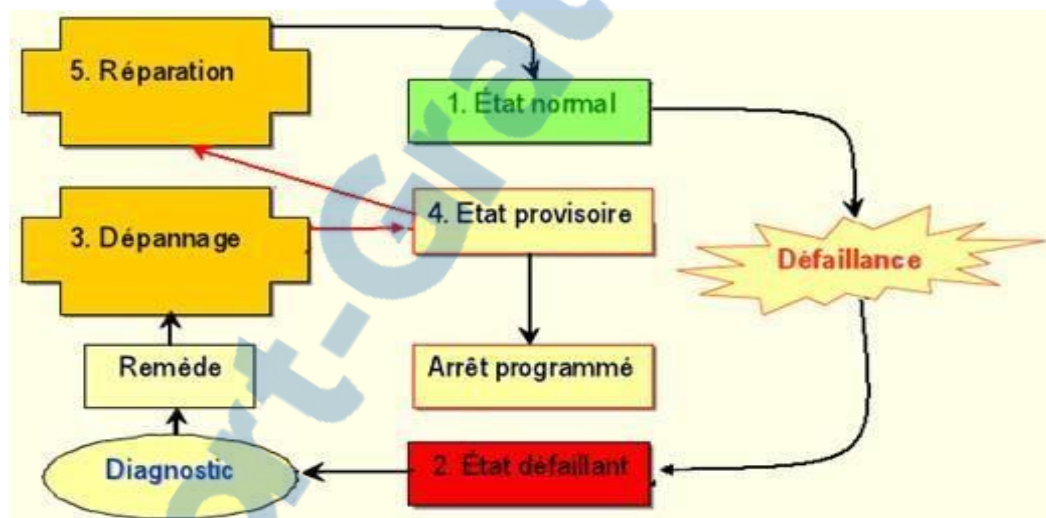
### 2.4.1.2. Maintenance palliative

La maintenance palliative revêt un caractère temporaire, provisoire, figure 2.7. Elle est principalement constituée des opérations qui devront toutefois être suivies des opérations curatives (réparations). Le dépannage est une opération de maintenance palliative qui est destinée à remettre le système en état provisoire de fonctionnement de manière à ce qu'il puisse assurer une partie des fonctions requises. Les opérations de dépannage sont souvent de courte durée et peuvent être nombreuses [5,6], son coût est très élevé, pour plusieurs raisons :

- ❖ Non-respect des dates de livraisons, d'où le risque de perdre des clients qui vont chercher des concurrents
- ❖ Recours aux heures supplémentaires qui coûtent cher

- ❖ Baisse de la qualité des produits
- ❖ Absence de la sécurité dans les lieux de travail, pour remédier à ces pannes, on a recours :
  - Aux équipements de secours qui peuvent entrer directement en fonction à la place des équipements défectueux,
  - Besoin d'une équipe d'entretien hautement qualifiée et compétente.

Le plus souvent, ces solutions sont un peu coûteuses [4], d'où l'intérêt de faire une étude de rentabilité pour savoir s'il est préférable de subir les inconvénients des pannes plutôt que de subir les coûts qu'entraîneraient ces solutions.



**Figure 2.7.** Maintenance palliative [4].

#### 2.4.2. Maintenance préventive

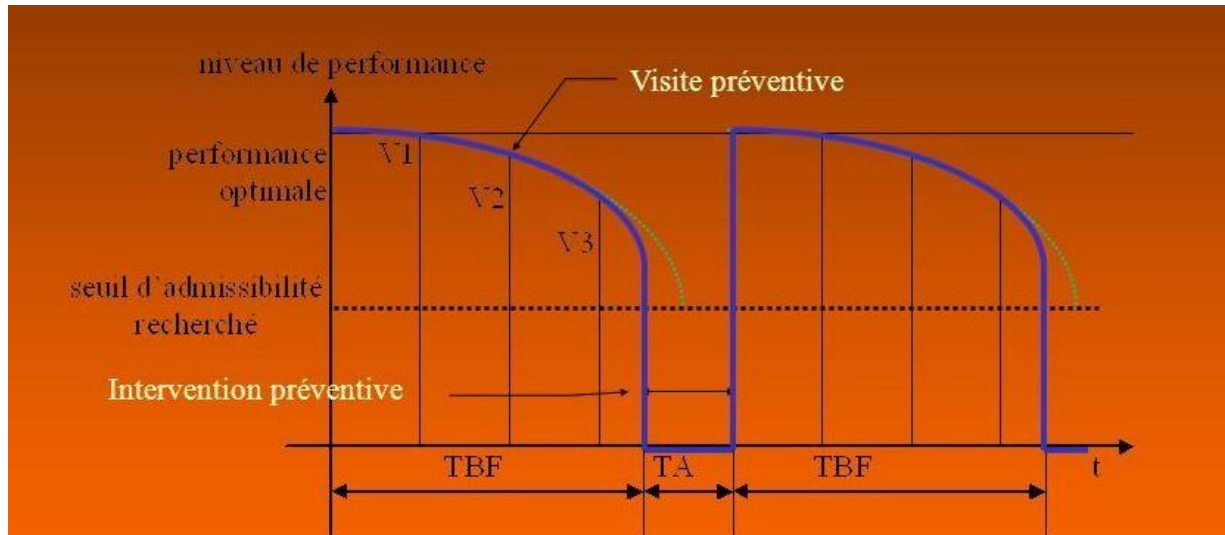
Opération de maintenance effectuée avant l'arrivée d'une défaillance, à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits (suite à l'analyse de l'évolution surveillée de paramètres significatifs), elle est destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation de fonctionnement d'un atelier rendu, figure 2.8, [7].

Note : L'intervention préventive sert à améliorer l'état de la production et des équipements.

Une politique de maintenance préventive a pour objectifs :

- ❖ réduire les coûts de défaillance
- ❖ augmenter la fiabilité d'une machine
- ❖ améliorer la disponibilité de l'atelier de production
- ❖ augmenter la durée de vie efficace d'une machine

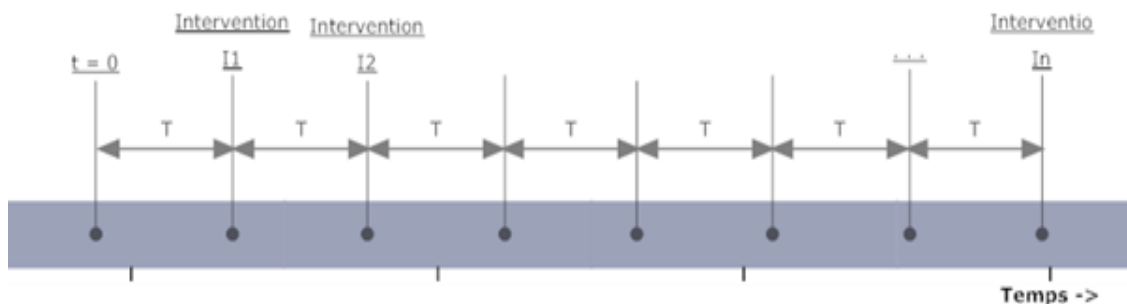
- ❖ améliorer l'ordonnancement des travaux
- ❖ faciliter la gestion des stocks
- ❖ assurer la sécurité, etc.



**Figure 2.8.** Intervention préventive [7].

#### 2.4.2.1. Maintenance préventive systématique

Lorsque la maintenance préventive est réalisée à des intervalles prédéterminés, on parle de la maintenance systématique, l'opération de maintenance qui est effectuée conformément à un échéancier, déterminé à priori figure 2.9. Aucune intervention ne peut avoir lieu avant l'échéance prédéterminée [8]. L'optimisation d'une maintenance préventive systématique consiste à déterminer au mieux la périodicité des opérations de maintenance sur la base du temps, du nombre de cycles de fonctionnement, du nombre de pièces produites... etc.



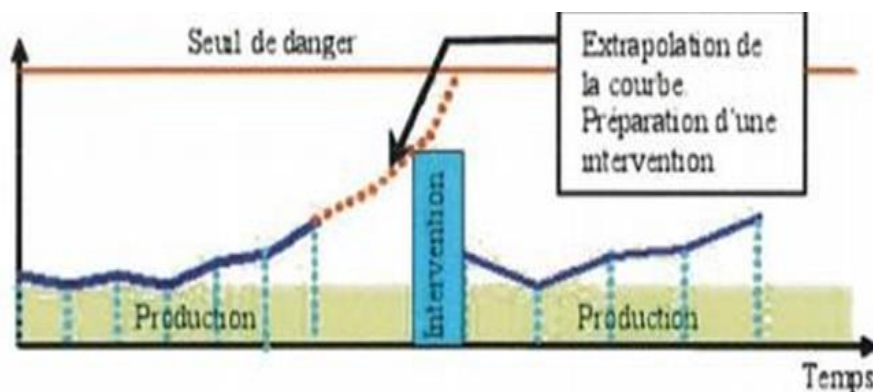
**Figure 2.9.** Intervention préventive systématique [8].

T : période d'intervention à intervalles constants

In : intervention préventive systématique

### 2.4.2.2. Maintenance préventive prévisionnelle

Lorsque la maintenance préventive est effectuée sur la base de l'estimation du temps de fonctionnement correct qui subsiste avant l'observation de l'événement redouté, on parle de maintenance prévisionnelle, figure 2.10. Une maintenance prévisionnelle peut prendre en compte l'âge du matériel qui n'est pas forcément calendaire mais par exemple le temps de fonctionnement mesuré depuis la dernière inspection [6]. Elle consiste à extrapoler la courbe de dégradation d'un organe pour prévoir une intervention.



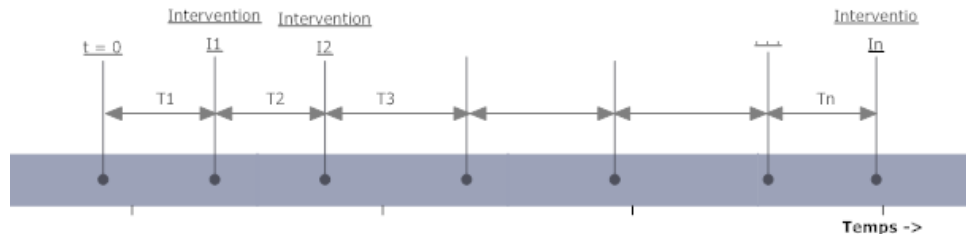
**Figure 2.10.** Schématisation de la maintenance prévisionnelle [6].

### 2.4.2.3. Maintenance préventive conditionnelle

Cette maintenance est définie comme étant celle que l'on réalise uniquement lorsque l'état de l'équipement le nécessite. La conséquence immédiate est qu'il est nécessaire de savoir mettre en place des techniques de surveillance (faisabilité technique et économique) et surtout d'être capable de qualifier de façon précise l'état de l'équipement. Un certain nombre de paramètres techniques significatifs de l'état de l'équipement, doivent donc être définis au cas par cas. Lorsque cela est possible on arrive à optimiser les interventions de maintenance préventive, en intervenant uniquement lorsque cela s'avère nécessaire figure 2.11. On peut schématiser ce processus en disant que l'intervention doit se réaliser lorsque le voyant rouge s'allume sur le tableau de bord. Cela pose cependant un autre problème qui est la définition des seuils acceptables pour chacun des paramètres précédemment définis. Ceci limite considérablement l'application de cette méthode, donc réservé la plupart du temps à des équipements dont la technologie et le comportement en exploitation sont parfaitement connus. Elle peut être appliquée suite à une inspection ou un contrôle. Ainsi, le système n'est arrêté que lorsqu'il existe une certaine probabilité de défaillance définie par l'analyse des niveaux des indicateurs issus des mesures et établis en permanence au cours du fonctionnement. Cette méthode présente donc l'avantage d'éviter la surprise de dysfonctionnement.



Les exemples les plus classiques des techniques utilisées pour mettre en place la maintenance conditionnelle sont la thermographie infrarouge, l'analyse des lubrifiants et la mesure des vibrations. Ces techniques donnent lieu d'ailleurs à des articles approfondis dans le cadre du préventif [9].



**Figure 2.11.** Intervention préventive conditionnelle [9].

T : période d'intervention à intervalles variant

In : intervention préventive conditionnelle

## 2.5. Opérations de maintenance

Il existe des définitions normatives des différentes opérations de maintenance.

### 2.5.1. Opérations de la maintenance corrective

Après apparition d'une défaillance, le maintenancier doit mettre en œuvre un certain nombre d'opérations, dont les définitions sont données ci-dessous. Ces opérations s'effectuent par étapes (dans l'ordre) :

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



### 2.5.2. Opérations de la maintenance préventive

- **Inspection** : contrôle de conformité, réalisé en mesurant, observant, testant ou calibrant les caractéristiques significatives d'un équipement ; elle permet de relever des anomalies et d'exécuter des réglages simples ne nécessitant pas d'outillage spécifique, ni d'arrêt de la production ou des équipements (pas de démontage).

- **Contrôle** : vérification de la conformité avec des données préétablies, suivie d'un jugement. Ce contrôle peut déboucher sur une action de maintenance corrective ou alors inclure une décision de refus, d'acceptation ou d'ajournement.

- **Visite** : examen détaillé et prédéterminé de tout (visite générale) ou partie (visite limitée) des différents éléments d'un équipement et pouvant impliquer des opérations de maintenance du premier et du deuxième niveau ; il peut également déboucher sur la maintenance corrective.

- **Test** : comparaison des réponses d'un système par rapport à un système de référence ou à un phénomène physique significatif d'une marche correcte.

- **Echange standard** : remplacement d'une pièce ou d'un sous-ensemble défectueux par une pièce identique, neuve ou remise en état préalablement, conformément aux prescriptions du constructeur.

- **Révision** : ensemble complet d'examens et d'actions réalisées afin de maintenir le niveau de disponibilité et de sécurité d'un équipement. Une révision est souvent conduite à des intervalles prescrits du temps ou après un nombre déterminé d'opérations. Une révision demande un démontage total ou partiel. Le terme révision ne doit donc pas être confondu avec surveillance. Une révision est une action de maintenance de niveau 4.

Les trois premières opérations sont encore appelées « **opérations de surveillance** ». Elles caractérisent parfaitement la phase d'apprentissage et sont absolument nécessaires si on veut maîtriser l'évolution de l'état réel d'un équipement. On accepte donc de payer pour savoir puis pour prévenir. Elles sont effectuées de manière continue ou à intervalles prédéterminés ou non, calculés sur le temps ou sur le nombre d'unités d'usage.

## 2.6. Classification des tâches de la maintenance

Une autre condition pour réussir un système de maintenance est de spécifier les niveaux de maintenance dans l'entreprise. Suivant la norme NF X60-010, il existe cinq niveaux de maintenance qui classent les opérations à réaliser selon leur complexité.

- **Niveau I** : Réglages simples prévus par le constructeur au moyen des organes accessibles sans aucun démontage d'équipement ou échange d'éléments accessibles en toute sécurité.
- **Niveau II** : Dépannage par échange standard d'éléments prévus à cet effet ou des opérations mineures de maintenance préventive.
- **Niveau III** : Identification et diagnostic des pannes, réparation par échange de composants fonctionnels et réparations mécanique mineures.
- **Niveau IV** : Travaux importants de maintenance corrective ou préventive.
- **Niveau V** : Travaux de rénovation, de reconstruction ou de réparations importantes confiées à un atelier central spécialisé.

**Tableau 2.1.** Ressources nécessaires pour chaque niveau de maintenance [10].

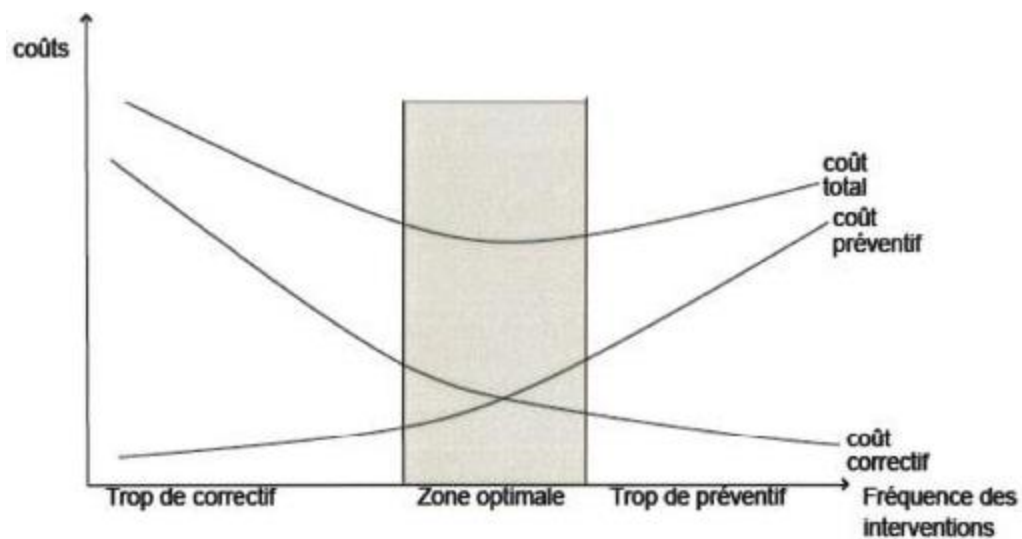
Niveaux	Personnel d'intervention	Moyens
I	Exploitant sur place.	Outillage léger défini dans les instructions d'utilisation.
II	Technicien habilité sur place.	Outillage léger défini dans les instructions d'utilisation, plus pièces de rechange trouvées à proximité sans délai.
III	Technicien spécialisé, sur place ou en local de maintenance.	Outillage prévu plus appareils de mesure, banc d'essai, de contrôle, etc.
IV	Equipe encadrée par un technicien spécialisée, en atelier central.	Outillage général plus spécialisé, matériel d'essai, de contrôle, etc.
V	Equipe complète, polyvalente en atelier central.	Moyens proches de la fabrication par le constructeur.

Ces niveaux de maintenance font référence à la complexité des tâches à effectuer et aux ressources humaines et matérielles nécessaires à la réalisation de chacune des tâches. Cette spécification est détaillée dans le tableau 2.1. Le système de maintenance, ainsi situé, permet de préciser, de limiter et de dégager les responsabilités et les attentes envers ce système. Cependant, ceci constitue une condition nécessaire mais malheureusement non suffisante pour réussir l'implantation d'un système de maintenance dans une entreprise. [10-11]

## 2.7. Caractéristique des activités de maintenance

Dans le milieu industriel, en général, une maintenance mixte est appliquée aux systèmes. En effet, la maintenance préventive est destinée à réduire la probabilité de défaillance, mais il subsiste une part de maintenance corrective. Il est donc nécessaire de considérer des stratégies qui combinent les deux : maintenance corrective et maintenance préventive [12].

De plus l'optimisation de la maintenance consiste à trouver la balance optimale entre la maintenance préventive et corrective tout en respectant les objectifs fixés. L'entreprise doit rechercher un compromis afin d'optimiser les relations entre les coûts de maintenance [13,14].



**Figure 2.12.** Fréquence des interventions de maintenance en fonction du coût [13].

La figure 2.12. est une illustration des effets de la fréquence des opérations de maintenance sur les coûts liés, soit à la maintenance corrective, soit à la maintenance préventive. L'augmentation du nombre d'interventions sur le système permet de réduire les effets indésirables engendrés par une panne, mais pénalise le fonctionnement du système. Il peut donc entraîner une augmentation du coût global d'exploitation du système dans la mesure où chaque opération de maintenance engendre un coût.

## **2.8. Conclusion**

Une attention particulière doit d'être portée sur la mise en place d'une stratégie de maintenance adéquate en fonction de l'activité de l'entreprise et de ses potentiels de développement, ceci afin de répondre aux besoins des consommateurs et augmenter sa rentabilité. Le présent chapitre, nous a permis d'exprimer quelques notions de la maintenance industrielle telle que les types de maintenance, les différents types des conséquences sur le fonctionnement et les coûts de la maintenance. Comme toute activité industrielle, la maintenance évolue et on ne peut pas avoir une seule et unique pratique de la maintenance. La politique de maintenance a pour objectif première de porter l'outil de production à son meilleur potentiel de disponibilité et à un coût minimal.

## **CHAPITRE 3**

# **STRATÉGIE DE LA MAINTENANCE**

## **CHAPITRE 3 : STRATÉGIES DE LA MAINTENANCE**

### **3.1 Introduction**

Le choix d'une stratégie de maintenance affecte fortement la performance d'une installation. Elle agit directement sur les équipements et couvre l'ensemble des opérations d'entretien destinées à accroître la fiabilité et diminuer les défaillances.

Dans ce chapitre, nous rappelons certains concepts de fiabilité, non seulement pour introduire certaines définitions, mais également pour mettre en évidence l'ampleur de l'effort nécessaire pour mettre en place une stratégie de maintenance adéquate. Il est important aussi de comprendre les phénomènes de défaillance des équipements.

### **3.2 Généralités sur la fiabilité**

#### **3.2.1. Définition selon la norme (AFNOR X06-501)**

La fiabilité est la caractéristique d'un dispositif, exprimée par la probabilité que ce dispositif accomplisse une fonction requise dans des conditions d'utilisation données et pour une période déterminée.

La fiabilité est l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise, dans des conditions données et pendant un intervalle de temps donné [15].

*Rapport-gratuit.com*  
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES 

#### **3.2.2. 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 [16].

#### **3.2.3. Fonction de la fiabilité**

La fiabilité d'un système s'exprime par la probabilité que ce dispositif accomplisse une fonction requise dans des conditions d'utilisation et pour une période de temps déterminée [17, 18]. Nous la désignons, dans ce qui suit par  $R(t)$  où  $t$  désigne la durée de la mission. La définition de la fiabilité montre bien que son domaine englobe les probabilités, donc les statistiques et les mathématiques. Mathématiquement, c'est la probabilité que l'équipement fonctionne sans défaillance (ne tombe pas en panne avant l'instant  $t$ ), figure 3.1 (b)

$$R(t) = P\{T > t\} = \int_t^{\infty} f(u) du \quad (3.1)$$

$T$  : est une variable aléatoire qui caractérise les durées de vie.

La fiabilité est décroissante en fonction de la variable  $t$ . Elle vérifie les propriétés :

$$\lim_{t \rightarrow 0} R(t) = 1 \quad (3.2)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} R(t) = 0 \quad (3.3)$$

Il existe deux types de fiabilité :

- la fiabilité intrinsèque, qui est propre à un matériel, selon un environnement donné ; elle ne dépend que de la qualité de ce matériel.
- la fiabilité extrinsèque, qui résulte des conditions d'exploitation et de la qualité de la maintenance, elle est relative à l'intervention humaine.

#### 3.2.4. Fonction de répartition

La fonction de répartition de l'équipement est la probabilité complémentaire de la fonction de survie  $R(t)$  [19]. Cette fonction appelée aussi la fonction cumulative ou fonction de distribution, elle définit la probabilité de défaillance de l'équipement avant l'instant  $t$ , figure 3.1 (a).

$$F(t) = P\{T \leq t\} = \int_0^t f(u) du \quad (3.4)$$

La fonction de répartition  $F(t)$  est une fonction croissante telle que :

$$\lim_{t \rightarrow 0} F(t) = 0 \quad (3.5)$$

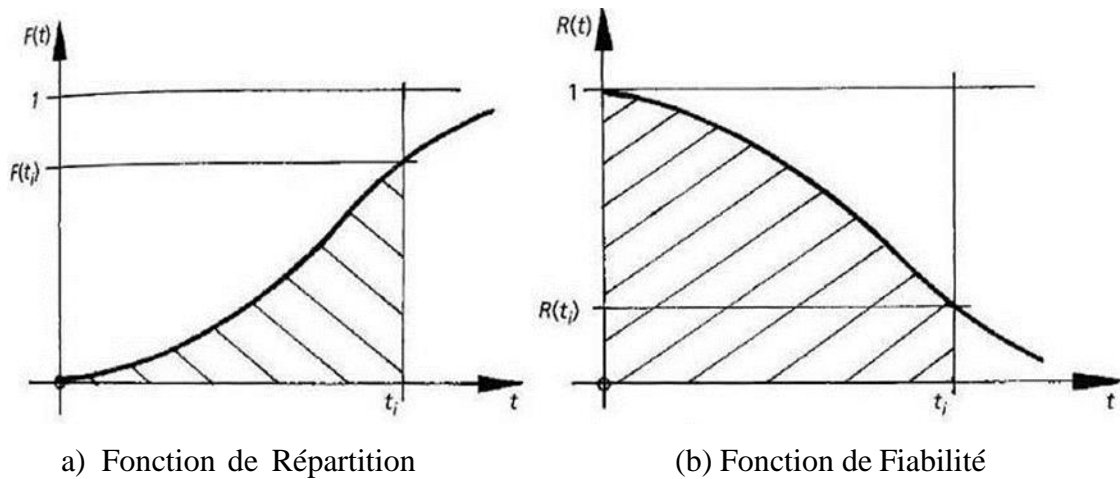
$$\lim_{t \rightarrow \infty} F(t) = 1 \quad (3.6)$$

#### 3.2.5. Fonction de densité de probabilité

La fonction  $f(t)$  définit la densité de probabilité des durées de vie de l'équipement à un instant donné. C'est une fonction mesurable et de mesure égale à l'unité. La probabilité de défaillance de l'équipement entre  $[t, t + dt]$  est approximativement égale au produit  $f(t)dt$  :

La surface  $F(t)$  définie sous la courbe de la figure 3.1 représente la probabilité que le système soit en défaillance à l'instant  $t^*$  ; et la surface  $R(t)$ , la probabilité que le système soit en opération.

Logiquement, avec l'évolution du temps (déplacement de  $t^*$  vers la droite dans le graphique) la probabilité de défaillance augmente et la fiabilité décroît . (figure 3.1)



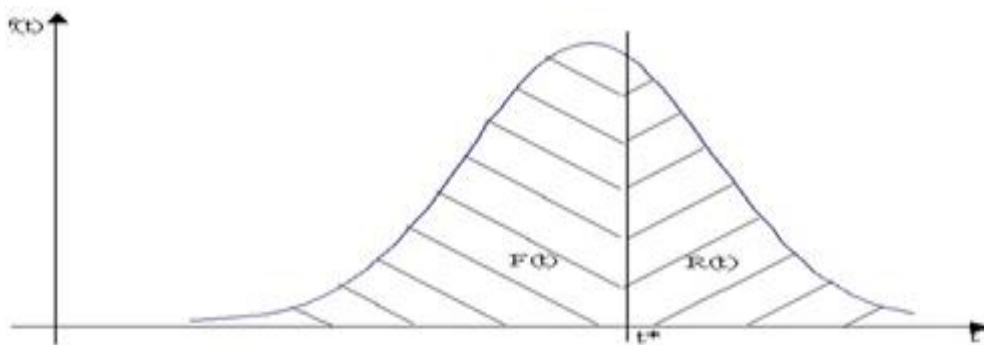
**Figure 3.1.** Courbes paramétriques de la fiabilité [17].

Si  $F(t)$  est une fonction continue, alors on peut définir une fonction de densité  $f(t)$

$$\begin{aligned}
 f(t) &= \lim_{dt \rightarrow 0} \frac{P(t < T \leq t + dt)}{dt} \\
 &= \lim_{dt \rightarrow 0} \frac{F(t + dt) - F(t)}{dt} \\
 &= \frac{dF(t)}{dt}
 \end{aligned} \tag{3.7}$$

### 3.2.6. Taux de défaillance

La défaillance d'un équipement peut être caractérisée par un taux appelé taux de défaillance. Ce taux est aussi appelé taux de pannes, taux de hasard ou taux de mortalité. Nous le désignons par  $\lambda(t)$ .



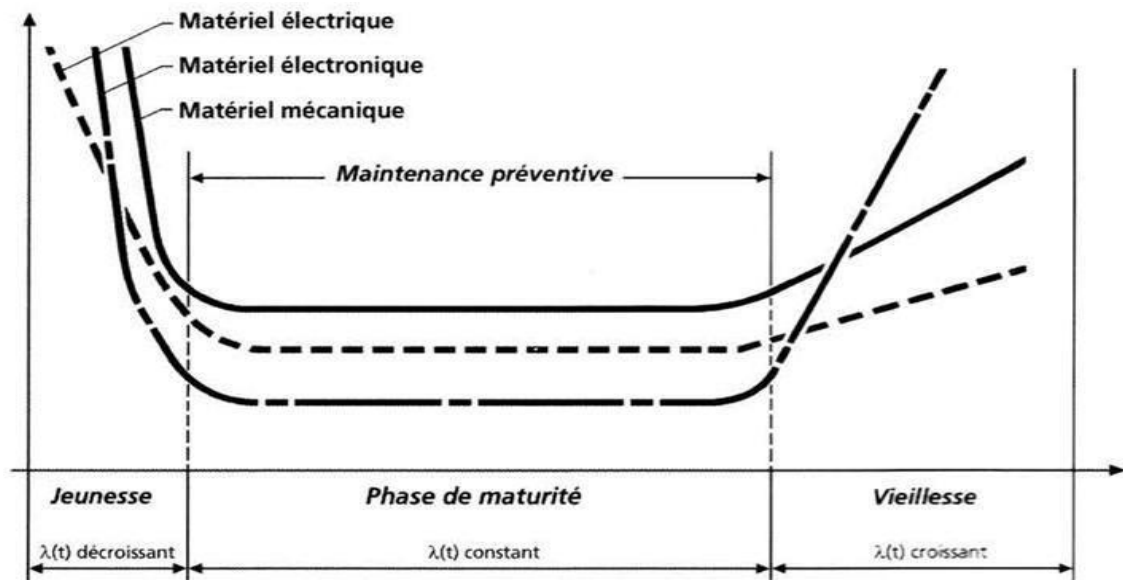
**Figure 3.2.** Densité de durée de vie[16].



La fonction  $\lambda(t) dt$  est la probabilité conditionnelle de défaillance de l'équipement à un instant  $t+dt$  sachant qu'il a survécu jusqu'à l'âge  $t$  sans défaillance

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (3.8)$$

L'allure du taux de défaillance en fonction du temps est souvent représentée par la fonction de la figure 3.3. Le taux varie selon une courbe qui prend l'allure d'un baignoire [20].



**Figure 3.3.** Taux de défaillance [20].

Cette courbe met en évidence trois périodes distinctes :

**Zone (1).** Période de jeunesse (rodage).

Le taux de défaillance décroît relativement vite après élimination des composants de qualité médiocre ou mal montés.

**Zone (2).** Période de maturité (vie utile).

Le taux de défaillance est constant. C'est la période de vie utile (ou période de pannes fortuites).

**Zone (3).** Période de vieillesse (période de fatigue ou d'usure).

Les défaillances sont dues à l'âge ou à l'usure des composants,  $\lambda(t)$  croît avec le temps du fait de la dégradation du matériel (usures mécaniques, fatigue, etc...). Cette courbe en baignoire montre bien que la maintenance préventive n'est réellement justifiée que pour la phase de maturité. Dans cette période, le taux de défaillance est sensiblement constant et égal à l'inverse de l'indice de fiabilité: MTBF (Mean Time Between Failure). La MTBF, ou moyenne des temps de bon fonctionnement, est la valeur moyenne des temps entre deux défaillances consécutives [21].

De l'équation (3.8) et sachant que :

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

$$\lambda(t) = -\frac{dR(t)}{dt} \cdot \frac{1}{R(t)} \quad (3.9)$$

Nous pouvons en déduire, une relation entre le taux de défaillance et la fiabilité :

$$\lambda(t) = -\frac{d \log R(t)}{dt} \quad (3.10)$$

En intégrant les deux membres de 0 à t, sachant que  $R(0) = 1$  :

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad (3.11)$$

### 3.2.7. Loi de Weibull

Contrairement à la loi exponentielle, la loi de Weibull convient quelque soit la valeur du taux de défaillance. Grace à sa souplesse, elle s'adapte à toutes les valeurs de  $\lambda(t)$  mais, elle permet en plus de déterminer dans quelle période de sa vie se trouve le système étudié. Outre son adaptabilité à toutes les situations, le modèle de Weibull livre d'autres informations en plus de son niveau de fiabilité d'un dispositif à un instant t. Les trois paramètres  $\beta$ ,  $\eta$  et  $\gamma$  de son expression :

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (3.12)$$

Elle permet une analyse plus fine et donne une image plus précise de l'état du système. Le paramètre  $\beta$  fournit des indications à la fois qualitatives et quantitatives du taux de défaillance instantané. Il est appelé indicateur de la forme, si sa valeur est  $< 1$ , alors  $\lambda(t)$  est décroissant, indiquant que le système est en période de jeunesse. Mais, si  $\beta$  est égal ou très voisin de 1, c'est le signe d'un comportement régulier du système avec un taux de défaillance sensiblement constant, c'est donc la période de maturité qui est la plus longue dans le cycle de vie d'un matériel. Enfin, si la valeur du paramètre de forme  $\beta$  est supérieure à 1, alors le modèle de Weibull est encore plus instructif, dans ce cas,  $\beta$  révèle d'abord une phase d'obsolescence, c'est l'expression quantitative qui retiendra davantage l'attention, car il est possible de lier la valeur au degré d'obsolescence de matériel [22].

### 3.3. Différentes grandeurs en maintenance

La vie utile d'un composant comporte des cycles de fonctionnement. Au cours d'un cycle, l'état du composant passe de l'état «en fonction» à l'état «hors d'usage» (figure 3.3).

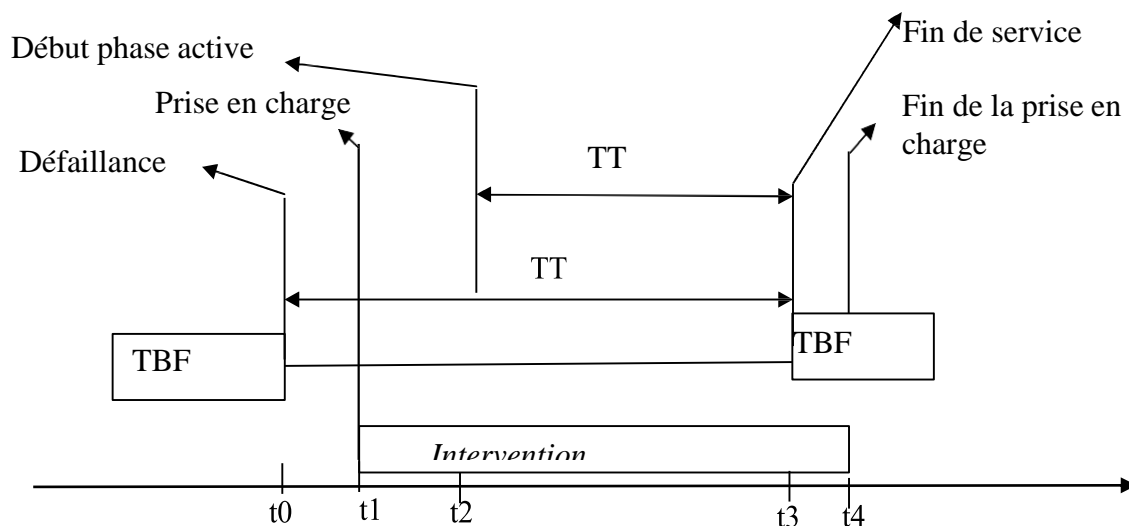
#### 3.3.1. Moyenne des temps de bon fonctionnement « MTBF »

La MTBF est la moyenne des temps de bon fonctionnement. Un temps de bon fonctionnement est le temps compris entre deux défaillances. La moyenne de ces temps est un indicateur indispensable pour tout gestionnaire d'un parc de matériel. Le taux de défaillance  $\lambda$  donne une image de la qualité du comportement des systèmes.

La MTBF global est la résultante des MTBF des composants du système. Les MTBF sont calculées à partir des renseignements des historiques des systèmes ou des documents d'activité des techniciens de maintenance.

#### 3.3.2. Moyenne des temps techniques de réparation « MTTR »

La MTTR est la Moyenne des Temps Techniques de Réparation. Comme la MTBF, elle est calculée à partir de données portées sur les comptes rendus, ou à défaut, sur les historiques. Le TTR est le temps durant lequel on intervient physiquement sur le système défaillant. Il débute lors de la prise en charge de ce système et se termine après les contrôles et essais, lorsque le système est remis en route.



**Figure 3.4.** Phases d'une intervention corrective

- $t_0 - t_1$  : temps de détection de la défaillance et d'appel
- $t_1 - t_2$  : temps logistique, de préparation et de diagnostic
- $t_2 - t_3$  : phase active de réparation
- $t_3 - t_4$  : temps annexes (compte rendu, nettoyage, déplacement)

Afin d'optimiser la disponibilité des systèmes et réduisant l'écart entre TTA et TTR, il est indispensable de chercher à réduire les temps non actifs (de  $t_0$  à  $t_2$ ).

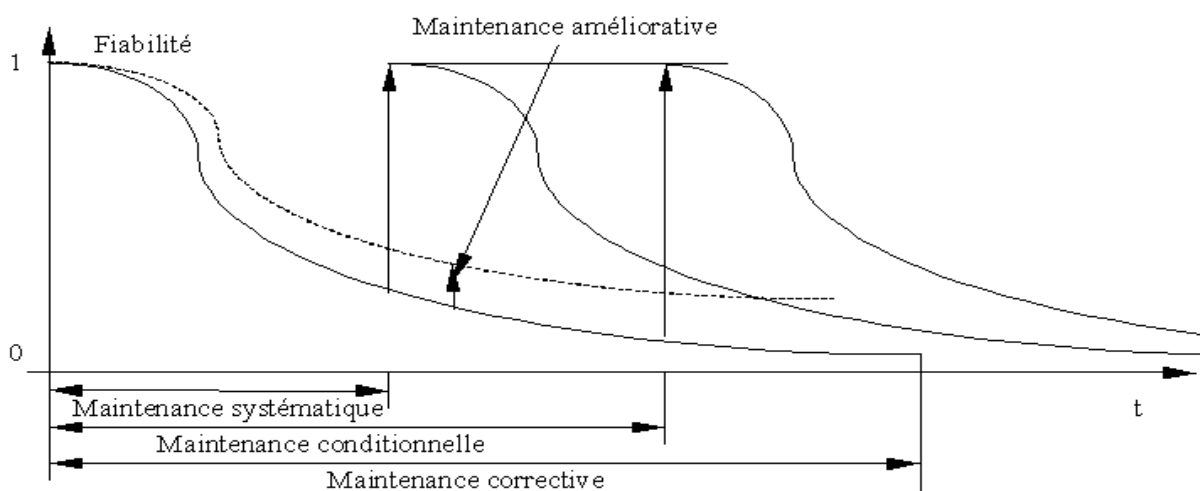
### 3.3.3. Moyenne des temps techniques d'arrêt « MTTA »

La MTTA est la Moyenne des Temps Techniques d'Arrêt. Les TTA sont une partie des temps d'arrêt qu'un système en exploitation peut connaître. Ils ont pour cause une raison technique et sont distingués des arrêts inhérents à la production (attente de pièces, de matière,...). Les TTA concernent principalement la maintenance corrective dans la mesure où les interventions à caractère préventif sont effectuées hors production. Les TTR sont donc généralement inclus aux TTA. Néanmoins, dans certaines conditions, l'inverse est possible lorsque l'intervention peut débuter avant l'arrêt du système.

### 3.4. Relation entre la maintenance et la fiabilité

L'évaluation de l'état de dégradation des équipements industriels s'avère un élément indispensable à la définition des opérations de maintenance destinées à garantir, pour un coût maîtrisé et préétabli, un niveau maximum de disponibilité et de sécurité de ces équipements.

La figure 3.5 présente la contribution des différents types de maintenance en ce qui concerne la fonction de fiabilité  $R(t)$  et la durée de vie utile de l'équipement. Une réduction du taux de panne  $\lambda(t)$  entraîne une amélioration de la fonction de fiabilité  $R(t)$ . C'est dans cette optique que la maintenance améliorative a été instaurée. La maintenance préventive, avec toutes ses variantes va, en revanche, tenter de ramener le taux de panne à son niveau le plus bas, en remplaçant la composante usée, sans améliorer les caractéristiques intrinsèques de l'équipement.



**Figure 3.5.** Impact de la maintenance sur la fiabilité des équipements

### **3.5. Plan de maintenance**

#### **3.5.1. Définition d'un plan de maintenance**

L'élaboration d'un plan de maintenance se fait au niveau d'une unité de maintenance. Elaborer un plan de maintenance, c'est décrire toutes les opérations de maintenance qui devront être effectuées sur chaque organe. La réflexion sur l'affectation des opérations de maintenance se fait en balayant tous les organes par décomposition fonctionnelle et en tenant compte de leur technologie, de leur environnement (sec, humide, poussiéreux, chaud, non ouvert, etc.), de leur utilisation, de leur probabilité de défaillance et de leur impact sur la production et sur la sécurité humaine et matérielle.

L'affectation des opérations de visite ou de contrôle a comme objectif de détecter les effets des dysfonctionnements qui peuvent arriver à chacun de ces organes. Il faut donc avoir connaissance de la nature, de la gravité et de la probabilité d'apparition des défaillances.

Pour chaque organe, lors de l'affectation des opérations et de la définition des périodicités, on se pose la question, « est-ce nécessaire et suffisant? ».

Lorsque la fréquence des contrôles est élevée, en raison de la probabilité importante de l'apparition des défaillances, on devra tenter de trouver la solution pour éliminer complètement ce dysfonctionnement [23].

#### **Exemple :**

Il n'est pas normal de devoir contrôler le serrage des fixations d'une came toutes les semaines. Dans ce cas, il faut chercher pourquoi les fixations se desserrent très souvent. Poser la question si le système en question est-il adapté ?

#### **3.5.2. Objectifs visés d'un plan de maintenance**

##### **3.5.2.1. Améliorer la fiabilité du matériel**

La mise en œuvre de la maintenance préventive nécessite les analyses techniques du comportement du matériel. Cela permet à la fois de pratiquer une maintenance préventive optimale et de supprimer complètement certaines défaillances [23].

##### **3.5.2.2. Garantir la qualité des produits**

La surveillance quotidienne est pratiquée pour détecter les symptômes de défaillance et veiller à ce que les paramètres de réglages et de fonctionnement soient respectés. Le contrôle des jeux et de la géométrie de la machine permettent d'éviter les aléas de fonctionnement. La qualité des produits est ainsi assurée par l'absence des rebuts.

**3.5.2.3. Assurer la sécurité humaine**

La préparation des interventions de maintenance préventive ne consiste pas seulement à respecter le planning. Elle doit tenir compte des critères de sécurité pour éviter les imprévus dangereux. Par ailleurs le programme de maintenance doit aussi tenir compte des visites réglementaires.

**3.5.2.4. Améliorer la gestion des stocks**

La maintenance préventive est planifiable. Elle maîtrise les échéances de remplacement des organes ou pièces, ce qui facilite la tâche de gestion des stocks. On pourra aussi éviter de mettre en stock certaines pièces qui sont utilisées très rarement.

**3.5.2.5. Améliorer le climat des relations humaines.**

Une panne imprévue est souvent génératrice de tension. Le dépannage doit être rapide pour éviter la perte de production. Certains problèmes, comme par exemple le manque de pièces de rechange, entraîne l'immobilisation de la machine pendant un temps relativement long. La tension peut monter entre le service de la maintenance et de la production.

En résumé, il faudra examiner les différents services rendus pour apprécier les enjeux de la maintenance préventive :

**3.5.2.6. Sécurité**

Diminution des avaries en service ayant pour conséquence des catastrophes

**3.5.2.7. Fiabilité**

Amélioration et connaissance des équipements

**3.5.2.8. Production**

Moins de pannes en production.

**3.5.3. Méthodes et moyens d'établissement d'un plan de maintenance**

Les différentes sources qui nous aident à définir les opérations de maintenance préventive sont :

- les documents techniques constructeurs
  - l'expérience de chacun (*techniciens et conducteurs de machine*)
  - les historiques de la machine concernée et éventuellement celles des machines de même type
  - les recommandations des constructeurs
-

- la base de données des organes très courants (le *standard de la maintenance préventive*)
- les valeurs du MTBF
- les conditions d'utilisation (*taux d'engagement, environnement...*)

#### **3.5.3.1. Documents techniques des constructeurs**

Les documents des constructeurs permettent de connaître d'une manière approfondie la machine à étudier. En général, on peut trouver les renseignements suivants :

- pièces d'usure, pièces de rechange
- types et références des articles
- types de lubrifiant, produits consommables
- paramètres de surveillance, de réglage
- modes opératoires de maintenance
- précautions particulières
- consignes particulières de sécurité

#### **3.5.3.2. Recommandations des constructeurs**

Les recommandations des constructeurs sont souvent à caractère général. Il faut les adapter aux conditions réelles d'utilisation. Les données proposées, très importantes, doivent servir de base de référence particulière pour la machine concernée.

#### **3.5.3.3. Analyse historique**

On recherche dans l'historique d'une installation la nature et la fréquence d'apparition des défaillances, la fréquence de remplacement, afin de :

- trouver les moyens de détecter les défaillances avant leur apparition
- déduire la périodicité des opérations de contrôle
- calculer la fréquence de remplacement systématique

On fait la distinction entre les défaillances répétitives et les défaillances accidentelles, entre les défaillances catalectiques et les défaillances de dérive. Les historiques des machines semblables peuvent être réunis pour une exploitation unique.

### 3.5.5 Expériences professionnelles

En général, les documents historiques sont souvent insuffisants ou inexistant. Les avis des opérateurs de maintenance et des opérateurs de machine sont très intéressants. Chacun possède des petites notes personnelles. C'est le moment de faire des échanges de connaissance.

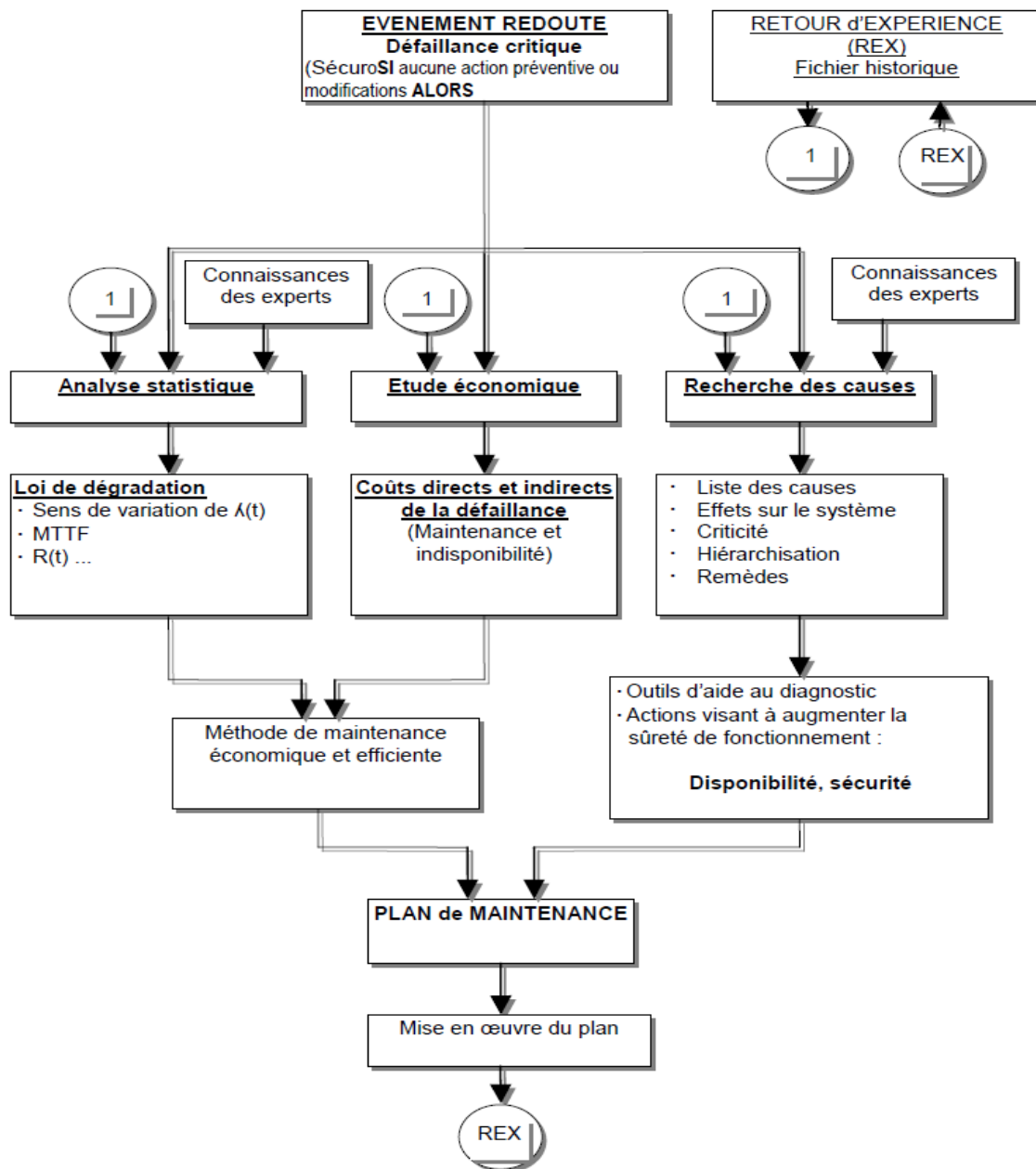


Figure 3.6. Etablissement du plan de maintenance [23].



### 3.6. Techniques de mesure en diagnostic

La mise en œuvre des nouvelles formes de maintenance nécessite l'utilisation des techniques de mesure permettant d'apprécier l'état de fonctionnement d'un système. Ces techniques qui peuvent être utilisées dans un programme de maintenance sont nombreuses. Toutefois, il ne s'agit pas ici de faire une présentation exhaustive de celles-ci, mais uniquement de sensibiliser le lecteur sur celles utilisées actuellement en maintenance. Dans ce sens, les principales techniques non destructives sont l'analyse vibratoire, l'analyse thermographique et l'analyse des lubrifiants.

#### 3.6.1. Analyse vibratoire

Parmi les méthodes utilisées en maintenance conditionnelle, l'analyse vibratoire est une des plus utilisées pour le suivi des systèmes mécaniques. Le principe général consiste à utiliser l'information vibratoire émanant soit d'un équipement mécanique dynamique (machines tournantes, ...) soit d'un matériel statique (structure, tuyauterie, ...) afin d'en déterminer l'état. En effet, un ensemble des pièces en mouvement, quelque soit la forme de la structure, génèrent des vibrations, et ce, même si les machines analysées sont en bon état de fonctionnement. Les vibrations dans les bâtis de machine peuvent avoir plusieurs origines, telles que des arbres mal équilibrés, mais aussi des défauts des roulements, des engrenages ou des courroies, qui viennent exciter ces bâtis. Les signaux vibratoires relevés permettent d'identifier une dégradation de l'outil de production avant qu'un incident ne se produise. Selon la qualité des relevés vibratoires et de la pertinence de l'analyse on peut spécifier le ou les composant(s) qui commence(nt) à se détériorer. Toutefois les coûts de l'instrumentation nécessaire au recueil des données mais aussi à leur analyse sont assez élevés, ce qui a pour effet de limiter la généralisation de ces techniques [24-25].

#### 3.6.2. Analyse thermographique

L'analyse thermographique fait également partie des techniques de mesure employées pour la surveillance. Chaque corps émet son propre rayonnement qui dépend directement de sa température et de sa nature. Un défaut sur un équipement entraîne généralement une différence de température, comme chez l'homme pour qui une maladie se traduit par une augmentation de la température. Par conséquent, la détection de l'échauffement d'un composant permet d'identifier un défaut, et dans certaines situations d'en localiser la cause. Aujourd'hui, la majeure partie des applications traitées par cette technique sont réalisées dans le domaine électrique, mais en mécanique aussi. La thermographie est intéressante comme étant un outil complémentaire de l'analyse vibratoire.

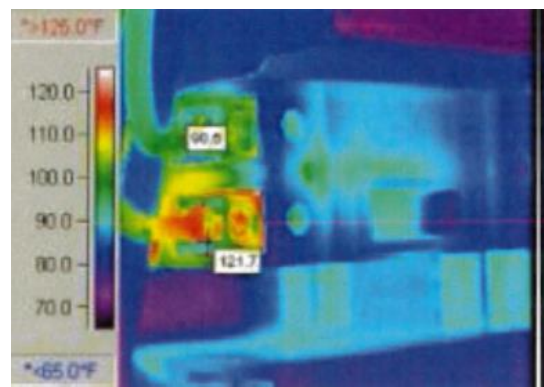
Elle a pour principal avantage d'être rapide, sans contact avec la machine, et peut mettre en évidence de nombreux problèmes sur des organes mécaniques, comme par exemple les engrenages et les équipements. Elle consiste à mesurer l'intensité du rayonnement infrarouge d'un système, [26].

La figure 3.7 illustre l'application de l'analyse thermographique pour la surveillance des systèmes électriques.

- a) représente l'image d'un disjoncteur vue par l'homme et sur laquelle aucune anomalie n'est perceptible.
- b) Image obtenue par une caméra thermique sur laquelle une connexion défectueuse est mise en évidence par l'apparition d'un point chaud.



(a)



(b)

**Figure 3.7.** Principe de l'analyse thermographique [26].

### 3.6.3. Analyse des lubrifiants

Un lubrifiant joue de nombreux rôles :

- réduit la consommation d'énergie
- limite usure
- participe au refroidissement
- assure certaines étanchéités
- protège contre la corrosion, l'usure, ...

L'analyse des échantillons d'un fluide lubrifiant permet de déterminer les caractéristiques physico-chimiques du lubrifiant et, ainsi identifier de manière précoce une usure des éléments mécaniques en contact.

En effet, le lubrifiant est un remarquable vecteur d'informations, puisqu'il va recueillir, en passant à travers les circuits, toutes les contaminations et usures provoquées ou subies par les machines. De ce fait, le lubrifiant va également se dégrader dans le temps.

L'analyse d'huile usagée permet donc d'avoir rapidement une vue détaillée non seulement de l'état du lubrifiant, mais également de l'équipement qu'il lubrifie. L'objectif sera de détecter les principales anomalies afin de donner au responsable de maintenance des informations précises sur l'état de la machine, et cela en recherchant dans le lubrifiant :

- tous les phénomènes de pollution
- tous les phénomènes de contamination
- l'ensemble des métaux provenant de l'usure
- dans certains cas et notamment lorsque les vidanges sont espacées

Toutefois l'étape préalable à l'étude de la dégradation et/ou de la contamination du lubrifiant consiste à prélever un échantillon de lubrifiant. L'acquisition des échantillons «valides» constitue souvent une limite à ces analyses. En effet, cette opération doit être effectuée avec soin, de façon à obtenir des échantillons représentatifs de l'état du lubrifiant qui circule dans l'installation. Ainsi, même si les procédés d'analyse des lubrifiants utilisables en ligne commencent à être bien connus, les méthodes de prélèvement et la fréquence à laquelle il faut les prévoir constituent toujours une difficulté dans la mise en œuvre de cette technique de surveillance. [27-28]

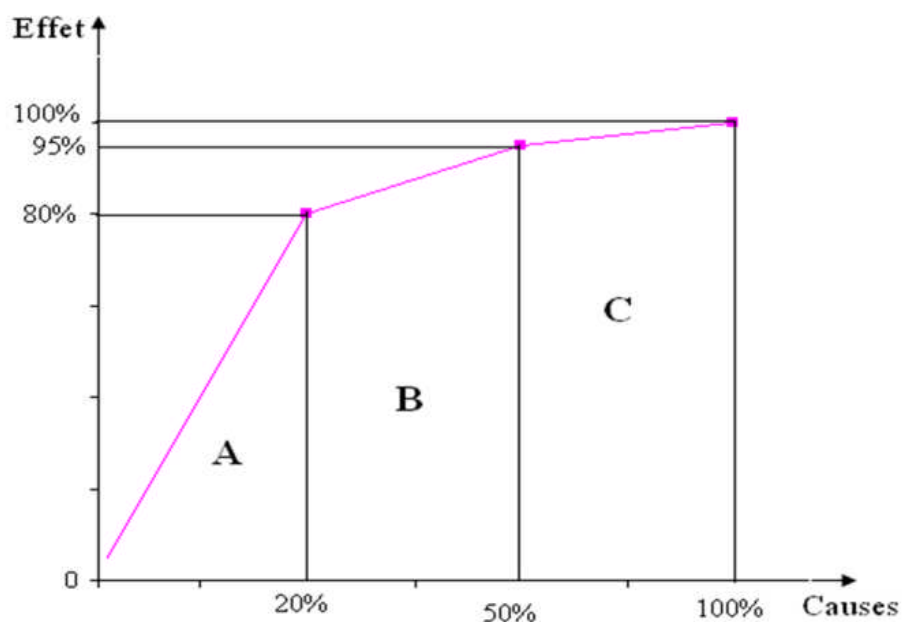
### 3.7. Diagramme de Pareto

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 ,voir figure 3.8 .

Exemples:

- Série : machines-outils
- Critère : nombre d'interventions
- Caractère : le plus important





**Figure 3.8.** Courbe de Pareto [29].

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 :

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 [29].

### 3.8. Analyse par (AMDEC)

La méthode AMDEC est l'acronyme de « l'analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leurs criticités ». C'est une méthode de prévention pour une meilleure satisfaction du client. Grâce à cette méthode d'amélioration continue, le responsable de maintenance va pouvoir identifier les problèmes qui pouvant survenir. L'AMDEC permet d'identifier, de rationaliser les problèmes potentiels pour ensuite les résoudre. Attention, en aucun cas il est possible d'identifier tous les problèmes potentiels. L'intérêt économique est d'anticiper des problèmes au sein d'une entreprise. En effet, cela entre dans la cadre de la limitation des risques pour un intérêt recherché par de nombreuses entreprises qui utilisent l'AMDEC depuis sa création par l'industrie aérospatiale américaine et de la notion de criticité par l'Europe[30].

### 3.8.1. 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, un des moyens majeurs de faire vivre l'amélioration continue et de démontrer sa mise en œuvre.
- Contrairement à ce que certains prétendent, l'AMDEC vous aide à réduire les coûts internes d'obtention de la qualité, à condition de travailler aussi sur les effets internes (dans le cadre de l'AMDEC procédé, sur la réduction des rebuts) : c'est un des objectifs de qualités 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 de défaillances.

### 3.8.2. Mise au point de la méthode AMDEC

Sur un tableur, il faut définir les « lignes » et les « colonnes » nécessaires à la méthode (AMDE ou AMDEC) réparties en quatre grandes familles[31] :

- analyse fonctionnelle
- analyse des défaillances potentielles
- estimation de la criticité
- mesures à appliquer.

**Tableau 3.1.** Exemple de AMDEC (moyen de production) [31].

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										

### 3.8.3. Analyse fonctionnelle

#### a) Composants

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

#### b) 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.

### 3.8.4. 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.

#### a) Modes de défaillance

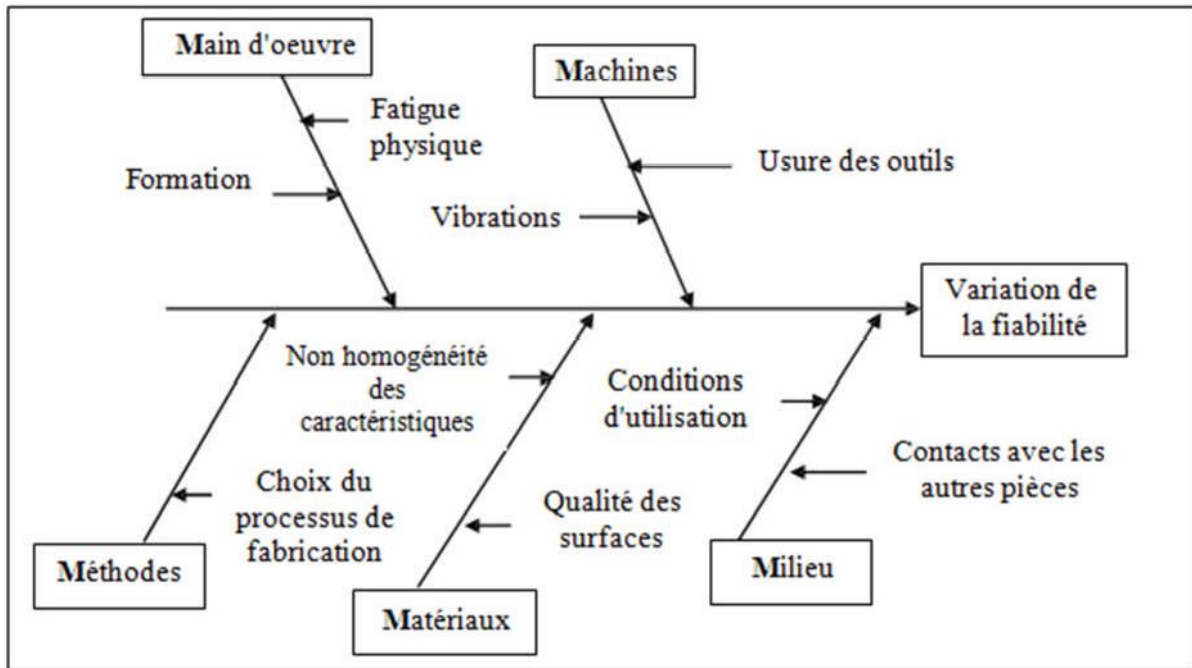
La norme (NF X60-510), est relative à la procédure d'analyse des modes fonctionnement et de leurs effets.

Les modes de défaillance sont étroitement liés à l'environnement et aux conditions de fonctionnement. Une analyse fine de la situation est indispensable.

#### b) 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 l'espace et avoir des origines sans lien apparemment direct. Les (5M) peuvent être remplacés par d'autres typologies voir figure 3.9.





**Figure 3.9.** Diagramme Ishikawa [31].

### c) 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 mais néanmoins jamais sans conséquence à plus ou moins long terme.
- Les effets locaux : Logiquement et évidemment ces cas se rencontrent lorsque l'on n'a pas pu les détecter plus tôt.

### 3.8.5. 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. Cependant, il est tout à fait logique de se détourner de cet ordinaire et augmenter ou diminuer le découpage selon ses propres besoins ou objectif. Ainsi une entreprise qui privilégierait la fiabilité pourrait découper plus finement le critère « occurrence » en 5, 6, ou 7 niveaux.

**a) Critère G**

Le critère de gravité évalue le risque pour l'utilisateur ainsi que pour le système et le service rendu. A chacun des effets d'une défaillance correspond un indice de gravité. Le critère de gravité, comme celui de l'occurrence, doit être très précis dans ses définitions, dans la sévérité et la gravité.

**Tableau 3.2.** Critère gravité [31].

Niveau	Définition
1	Mineure : défaillance ne provoquant pas l'arrêt de production supérieur à 5 minutes. Aucune dégradation ni production défectueuse.
2	Moyenne : défaillance provoquant un arrêt de 5 à 30 minutes et nécessitant une réparation sur site.
3	Importante : défaillance provoquant un arrêt de 30 à 60 minutes et/ou nécessitant le remplacement d'un matériel défectueux.
4	Grave : défaillance provoquant un arrêt supérieur à 1 heure et/ou impliquant des risques potentiels pour la sécurité des personnes et des biens.

**b) Critère O**

Le critère d'occurrence indique le niveau de probabilité d'apparition d'une défaillance, donc, de la fiabilité en quelque sorte. La définition des niveaux d'occurrence doit être précise comme le montre le tableau suivant. On doit se limiter à des termes tels que : faible, possible, certaine, ou forte. Il consiste à prendre le risque d'écarts d'interprétation entre les différents lecteurs ou utilisateurs de l'analyse.

**Tableau 3.3.** Critère d'occurrence [31].

Niveau	Définition
1	Faible : Moins de 1 fois par semestre.
2	Possible : En moyenne 1 fois par mois.
3	Certaine : En moyenne 1 fois par semaine.
4	Forte : Possible 1 fois par jour

### c) Critère D

Le critère D est l'indice de non détectabilité.

**Tableau 3.4.** Critère de non détection [31].

Niveau	Définition
1	Elémentaire : Défaillance possible à éviter.
2	Aisée : Apparition d'une défaillance avec recherche et action corrective évidente.
3	Moyenne : Apparition d'une défaillance, recherche et action corrective menées par un technicien de maintenance.
4	Délicate : Défaillance difficilement détectable et nécessite le démontage et un technicien spécialisé.

Il s'évalue à partir du mode de défaillance par une note estimée allant de 1 (dégradation élémentaire) à 4 (défaillance soudaine).

### d) Critère C

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

**Tableau 3.5.** Critère de criticité [31].

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.

### 3.8.6. Mesures

Elles sont souvent décomposées suivant les rubriques possibles :

- Modifications de conception.
- Moyens de détection ou consignes de surveillance ou inspections périodiques.
- Dispositif de remplacement, reconfiguration, ....
- Observations, recommandations.

Il appartient au groupe de travail de tirer le maximum de préconisations du travail long et fastidieux, mais riche d'enseignements avec une AMDEC appliquée.

### **3.9. Méthode de l'Abaque de Noiret**

#### **3.9.1. Utilité**

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 apporter une maintenance préventive. Il ne s'agit que d'un outil d'aide à la décision et non pas d'un outil de décision.

#### **3.9.2. Principe**

L'abaque de Noiret est basé sur les critères suivants :

- a) âge de l'équipement
- b) son interdépendance : dans quelle mesure est-il vital pour la production
- c) son coût
- d) sa complexité et son accessibilité
- e) sa robustesse et sa précision
- f) son origine : France ou Etranger
- g) son utilisation dans le temps
- h) les conséquences de ses défaillances sur les produits
- i) les délais de production qui lui sont liés

Chaque critère se décline en plusieurs options correspond chacune à un certain nombre de points. Les points ainsi obtenus sont additionnés [32] .

**Remarque :** un seul choix est possible par critère; il faut donc prendre celui qui est le plus représentatif de l'équipement.

### 3.10. Conclusion

Afin de mettre en application l'intérêt de nos travaux, dans ce chapitre, on a dans un premier temps, rappelé les concepts de la fiabilité ainsi que les relations qui existent entre elle et les différentes fonctions de densité de probabilité et du taux de panne. La connaissance de l'une de ces fonctions permet en effet de déterminer les autres. Dans un second temps, nous avons défini et classifié les défaillances d'un système ainsi que ses modes et ses causes. La connaissance de ces notions est indispensable pour pouvoir implanter une stratégie de maintenance efficace et rentable.

En dernier temps, les facteurs d'importance fiabilistes ont été définis dans le cadre de localiser l'élément susceptible de criticité, donc c'est un outil efficace pour la prise de décision dans les études de fiabilité. L'objectif de ces techniques est de mettre en place des signatures caractéristiques de l'état de fonctionnement d'un système à partir des mesures réalisées sur celui-ci. L'utilisation de ces techniques en maintenance engendre des coûts de mise en œuvre qui ne sont pas toujours négligeables vis-à-vis des gains. Les techniques d'analyse vibratoire, de thermographie ou encore d'analyse de lubrifiants sont essentiellement utilisées de manière périodique sur des équipements pour lesquels les coûts imputés à une diminution de la productivité seraient très importants.

**CHAPITRE 4.**

**OPTIMISATION DE LA MAINTENANCE DES**

**EQUIPEMENTS AU NIVEAU DE L'ATELIER DE**

**FILATURE**



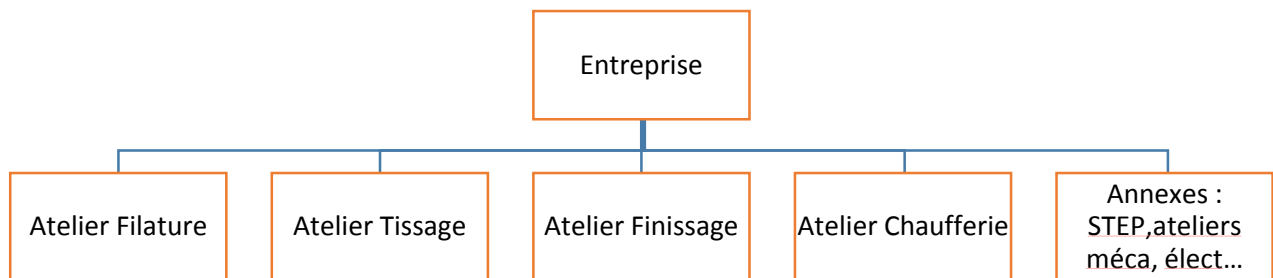
## **CHAPITRE 4. OPTIMISATION DE LA MAINTENANCE DES EQUIPEMENTS AU NIVEAU DE L'ATELIER DE FILATURE**

### **4.1. Introduction**

Notre étude est divisée en trois parties, on s'attachera dans la première partie à exploiter et à analyser les équipements par la méthode de PARETO afin de déterminer les équipements les plus défaillants. Les analyses d'exploitation des équipements sont prises à partir des données pour une période de deux ans on traite les nombres d'ordre de travail OT archivée dans historiques. Dans la deuxième partie on utilisera la méthode AMDEC afin d'identifier les organes critiques suite à un découpage fonctionnel des équipements stratégiques. Enfin, nous appliquons le modèle de Weibull pour déterminer les paramètres de fiabilité des organes critiques. En dernier lieu, nous proposons quelques solutions pour réduire la criticité de ces organes et diminuer la fréquence des défaillances des équipements.

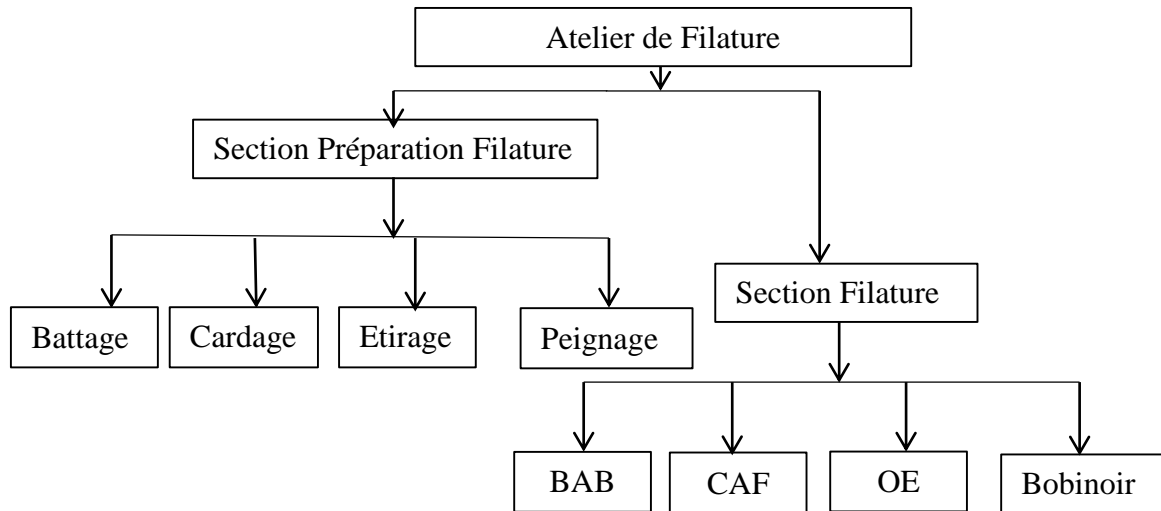
### **4.2. Découpage de l'entreprise**

Le problème qui se pose concerne le découpage de l'ensemble des équipements à des niveaux plus fins pour atteindre l'élément que l'on veut étudier.



**Figure 4.1.** Découpage de l'entreprise

Ce premier découpage sera suivi par un second qui permet de descendre au niveau des composants.



**Figure 4.2.** Découpage de l'atelier de filature

#### 4.2.1. Classification du matériel

La classification est principalement utilisée comme une base d'établissement d'un programme de maintenance préventive ou pour mesurer les effets de cette maintenance. Elle consiste, en pratique, à ne pas traiter le matériel sur un même pied d'égalité, mais selon des critères [15]. On trouve deux critères possibles pour le classement.

##### a) Matériel très sollicité

C'est le cas des équipements qui fonctionnent en régime continu (2x8h).

##### b) Matériel moyennement sollicité

C'est le cas des équipements qui fonctionnent par intermittence. Le critère de cette classification consiste à comparer l'état du matériel avec les besoins de l'exploitation : Cela veut dire qu'un équipement peut être employé pour réaliser certaines opérations bien que son état général soit plutôt dégradé par rapport à celui d'un équipement neuf.

#### 4.3. Analyse par la méthode de Pareto

La mise en œuvre d'une politique de maintenance préventive nécessite l'identification des ateliers sensibles qui doivent donc être traités en priorité. Cette méthode d'analyse induite des résultats des données se fait à partir du diagramme de Pareto qui nous permet de sélectionner les équipements sensibles. Le diagramme de Pareto est un histogramme dont les équipements les plus critiques sont conventionnellement classés dans la zone A.

### 4.3.1. Construction du diagramme de Pareto

D'après les données prélevées nous avons classé les machines selon deux façons :

- Coût indirect (indisponibilité des équipements).
- Coût direct ou bien le coût de défaillance (le coût de réparation, et le coût de perte de production).

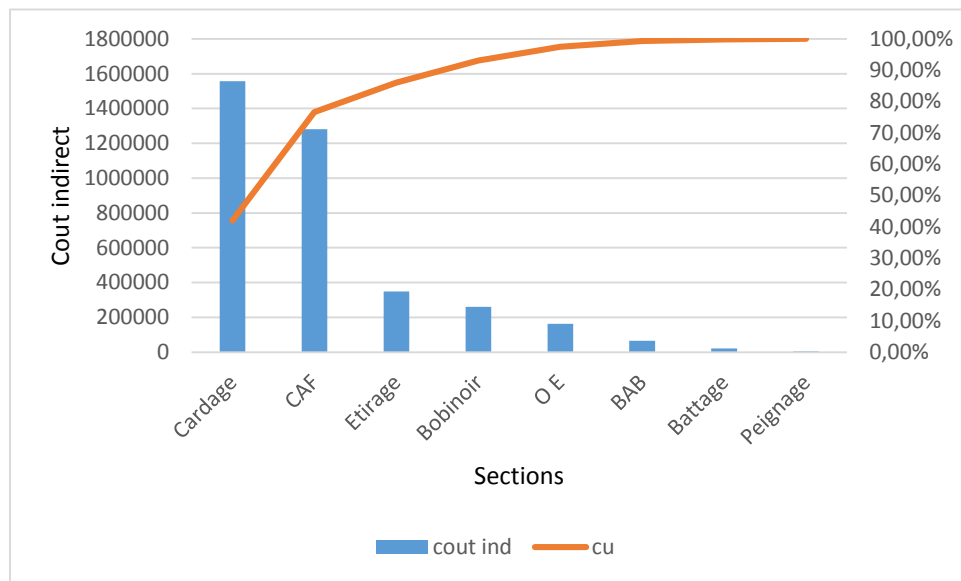
#### 4.3.1.1. Coût indirect

Le coût indirect modélisé par l'indicateur de l'indisponibilité (non disponible) d'un système c'est le résultat de la combinaison de deux facteurs : le nombre des interventions ou bien fréquences «  $N$  » et la durée moyenne de réparation (ou de dépannage) «  $T$  ». On construit un tableau dans lequel les sections sont classés par ordre décroissant du coût indirect, voir tableau 4.1.

**Tableau 4.1.** Classement des ateliers par coût indirect

N°	Sections	Fréquence « $N$ »	Durée d'intervention $T$ « heures »	$N \times T$	Fréquence (%)	Cumulé (%)
1	Cardages	1189	1309	1556401	42.04	42.04
2	CAF	1130	1133	1280290	34.58	76.62
3	Bobinoirs	429	815	349635	9.44	86.07
4	Etirages	605	430	260150	7.03	93.09
5	OE	289	563	162707	4.39	97.49
6	BAB	260	253	65780	1.78	99.26
7	Battage	155	141	21855	0.59	99.85
8	Peignage	71	76	5396	0.15	100
				3702214		

Le diagramme de Pareto est illustré dans la figure 4.3.



**Figure 4.3.** Diagramme de Pareto par coût indirect

### Interprétation

Le diagramme PARETO montre que la section cardage est responsable de 80% de l'indisponibilité des équipements.

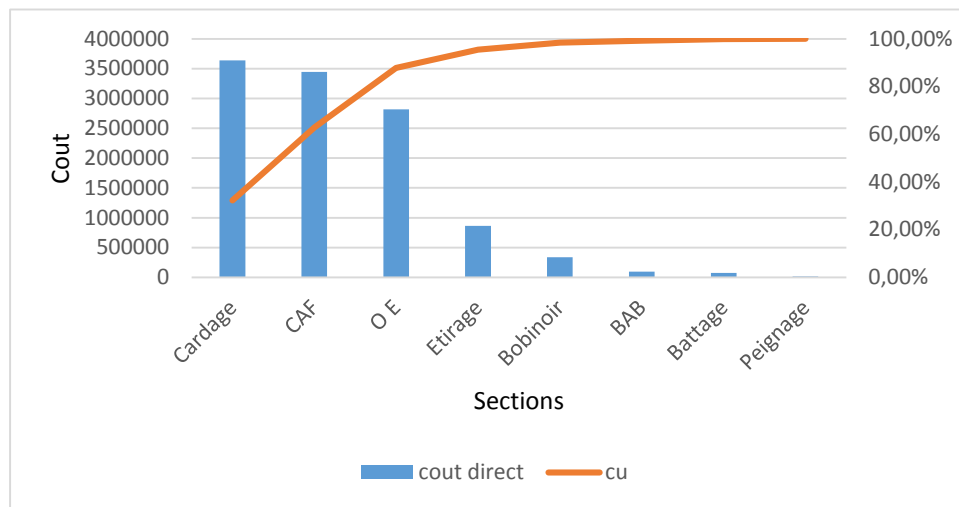
#### 4.3.1.2. Par le coût direct

Le coût direct ou bien le coût de défaillance est la somme des dépenses des réparations (frais des pièces de rechange et de manœuvre), plus les pertes de production.

**Tableau 4.2.** Classement des ateliers par coût direct

N°	Sections	Coût (DA)	Coût (%)	Cumulé (%)
1	Cardages	3641276	32.26	32.26
2	CAF	3446646	30.53	62.79
3	Etirages	2817420	24.96	87.75
4	Bobinoir	864266	7.66	95.41
5	OE	335403	2.97	98.38
6	BAB	94864	0.84	99.22
7	Battage	73379	0.65	99.87
8	Peignage	14361	0.13	100
		<b>11287615</b>		

On trace le diagramme de Pareto illustré dans la figure 4.4



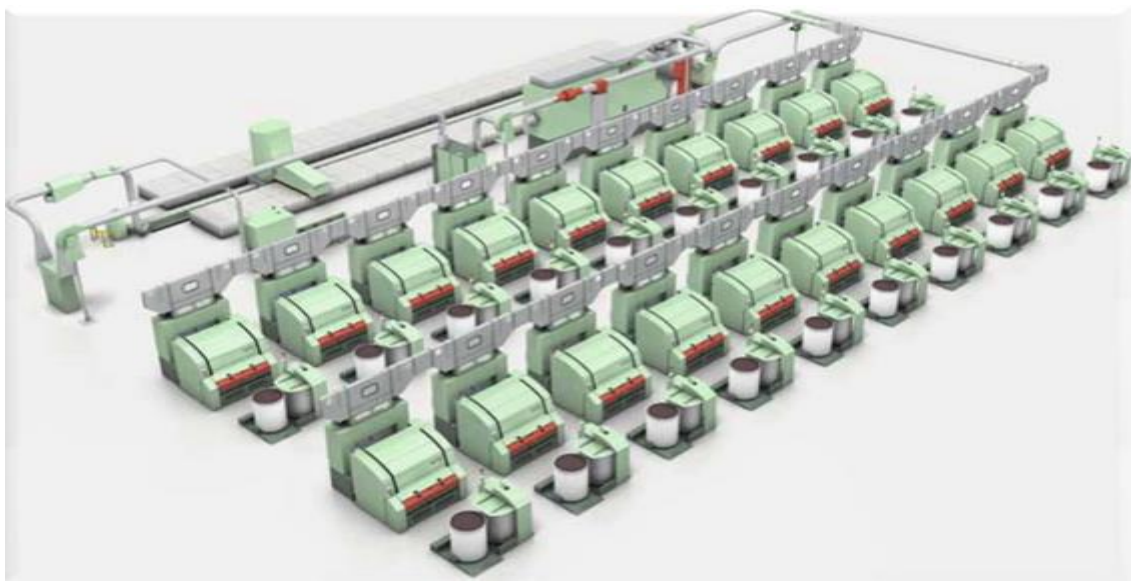
**Figure 4.4** Diagramme de Pareto par coût direct

### Interprétation

Dans le cas des coûts directs le diagramme PARETO montre que la section de cardage et la section continue à filer sont responsables de 80% des coûts total, ce qui rendra prioritaire les actions envers ces sections.

#### 4.3.2. Découpage de la section de cardage

Un deuxième découpage permet de descendre au niveau des équipements stratégiques. La figure 4.5 représente le découpage de la section de cardage.



**Figure 4.5.** Représentation de la section de cardage

### 4.3.3. Diagramme de Pareto des équipements de la section de cardage

Dans cette partie nous allons utiliser les résultats d'exploitation des équipements de la section cardage on construit le tableau 4.3 et le tableau 4.4.

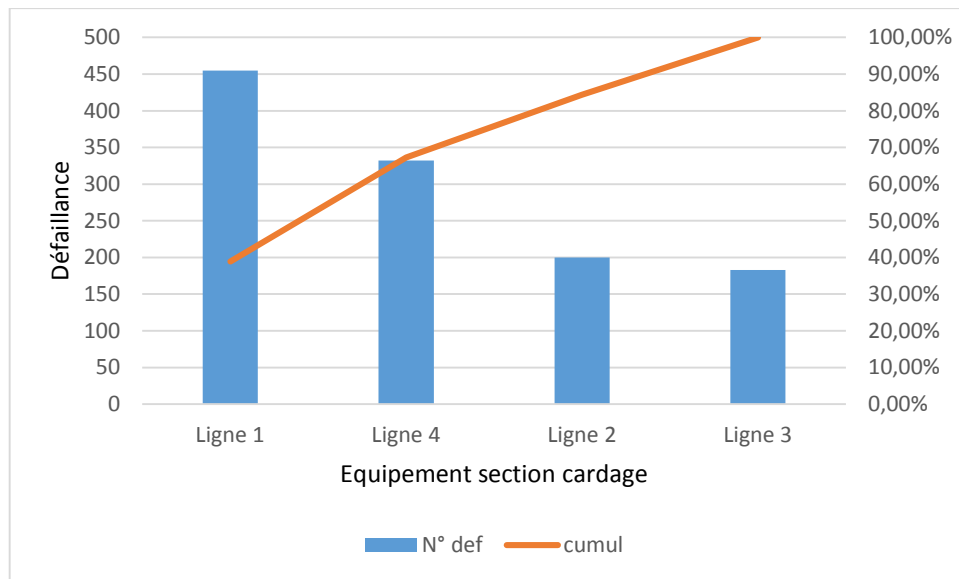
**Tableau 4.3.** Classement des lignes équipements de la section cardage

Ligne	N° Déf	Fr (%)	Cumulé (%)
Ligne 1	455	38.89	38.89
Ligne 2	332	28.38	67.26
Ligne 3	200	17.09	84.36
Ligne 4	183	15.64	100
Total	1170		

**Tableau 4.4.** Classement des équipements de la section cardage

Ligne 1	N° Déf	Ligne 2	N° Déf	Ligne 3	N° Déf	Ligne 4	N° Déf
1	48	13	arrêt	23	4	35	7
2	52	14	25	24	21	36	30
3	36	15	30	25	16	37	49
4	10	16	13	26	27	38	18
5	42	17	13	27	16	39	45
6	39	18	10	28	14	40	23
7	17	19	27	29	11	41	3
8	31	20	16	30	4	42	46
9	54	21	33	31	28	43	30
10	53	22	33	32	12	44	23
11	34			33	8	45	46
12	39			34	1	46	19
	455		200		183		332

On trace le diagramme de Pareto illustré dans la figure 4.6 qui permet de sélectionner les équipements critiques. Seule la section de cardage est à prendre en considération dans notre étude afin de limiter les défaillances imprévues au niveau de cette section.



**Figure 4.6.** Diagramme de Pareto de la section de cardage

### Interprétation

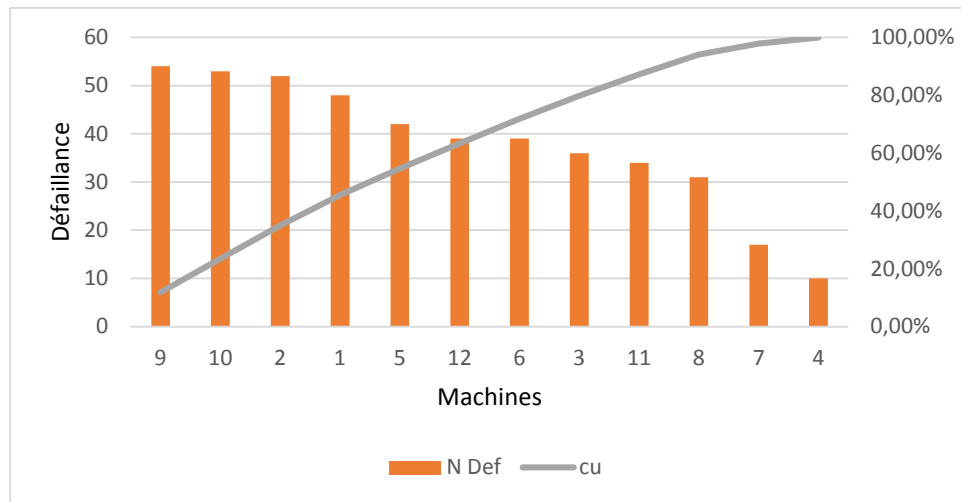
Dans ce cas le diagramme Pareto montre que la ligne 1 et la ligne 2 de la section de cardage sont responsables de 80% de l'indisponibilité des équipements.

**Tableau 4.5.** Classement des équipements de la ligne 1 de cardage

Ligne 1	N° Défaillance	Fr (%)	Cumulé (%)
9	54	11.87	11.87
10	53	11.65	23.52
2	52	11.43	34.95
1	48	10.55	45.49
5	42	9.23	54.73
12	39	8.57	63.30
6	39	8.57	71.87
3	36	7.91	79.78
11	34	7.47	87.25
8	31	6.81	94.07
7	17	3.74	97.80
4	10	2.20	100
	455		



On trace le diagramme de Pareto illustré dans la figure 4.7 qui permet de sélectionner l'équipement critique de la ligne 1 de la section de cardage à prendre en considération dans notre étude afin de limiter les défaillances imprévues au niveau de cet atelier.



**Figure 4.7.** Diagramme de Pareto des équipements de la ligne 1

### Interprétation

Le diagramme montre que les machines de cardage 9, 10 et 2 de la ligne 1, sont responsables de 80% de l'indisponibilité, ce qui rendra prioritaire les actions de maintenance envers ces équipements sensibles. Pour cela on utilise la méthode développée en analyse de fiabilité et qui est connue sous le nom « AMDEC ». C'est une méthode de réflexion créative qui repose sur la décomposition fonctionnelle du système en éléments simples jusqu'au niveau des composants les plus élémentaires.

#### 4.3.4. Analyse par la méthode de l'abaque de Noiret

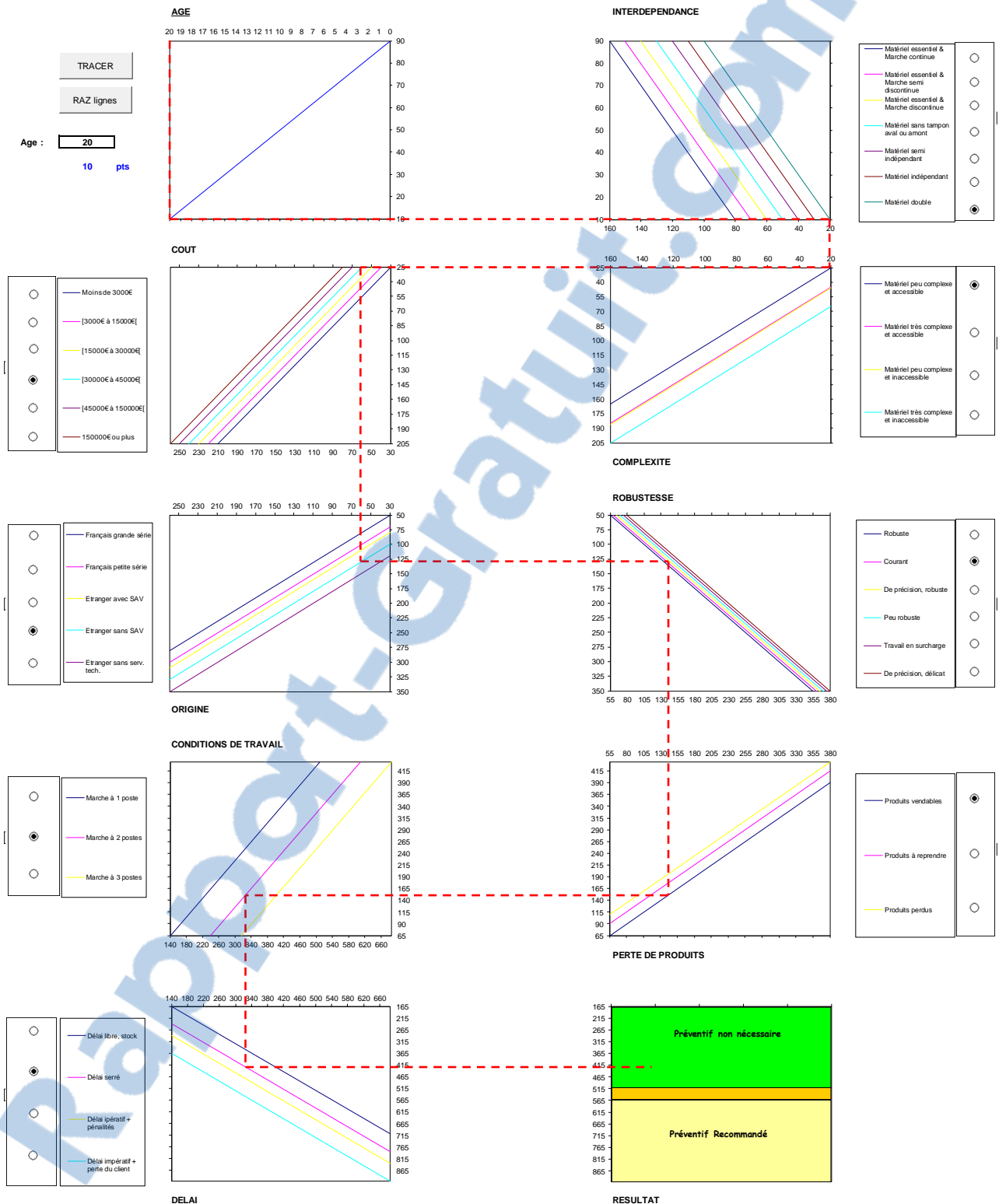


Figure 4.8. Abaque de Noiret

On a utilisé un outil efficace et rapide pour exploiter les données de dégradation des équipements c'est la méthode de Noiret cette méthode nous permet de localiser la zone de dégradation de l'équipement ce qui nous confirme le besoin de l'analyse par AMDEC.

## 4.5. Diagnostic par AMDEC

### 4.5.1. Analyse du système

Pour cela on utilise la méthode "AMDEC" [16] qui est une méthode de réflexion créative et qui repose sur la décomposition fonctionnelle du système en éléments simples jusqu'au niveau des composants les plus élémentaires. Dans un premier temps on va décomposer fonctionnellement la machine de cardage 9.

### 4.5.2. Tableau de cotation

Les valeurs des coefficients sont fixées au maximum égale à quatre pour limiter le niveau des détails et pour faciliter la manipulation des chiffres.

**Tableau 4.6.** Grille de cotation

Niveau ou cotation	1	2	3	4
Indice de fréquence	Moins d'une fois par année	Moins d'une fois par mois	Moins d'une fois par semaine	Plus d'une fois par semaine
Indice de Gravité	Durée d'intervention $D \leq 1$	Durée d'intervention $1h \leq D \leq 3h$	Durée d'intervention $3h \leq D \leq 5h$	Durée d'intervention $D > 5h$
Indice de détection	Signe avant défaillance	La défaillance. Sa cause est évidente	La défaillance se produit mais sa cause est décelable	Défaillance non décelable

### 4.5.3. AMDEC de la machine de carte N°9

L'analyse « AMDEC » de la machine de carte permet de déterminer l'élément critique de l'équipement.

**Tableau 4.7.** AMDEC de la machine de carte « partie électrique »

Organe	Fonction d'état	Mode de défaillance	Cause	Effet sur le système	Criticité				Action à engager
					Fr	Gr	D	IPR	
contacteur	commande	Blocage	Blocage	Arrêt	2	1	3	6	changement
relais temporisé	commande	Court circuit	protections thermiques	Arrêt	1	1	4	4	changement
bouton poussoir	commande	Blocage	mauvais alignement	Arrêt	2	1	2	4	changement
bobine d'embrayage	Transmette le mouvement	Court circuit	mauvais alignement	Arrêt	2	2	2	8	à Réparer
relais thermique	sécurité	Court circuit	protections thermiques	Arrêt	2	1	3	6	changement

**Résultat :** L'organe critique est la bobine embrayage

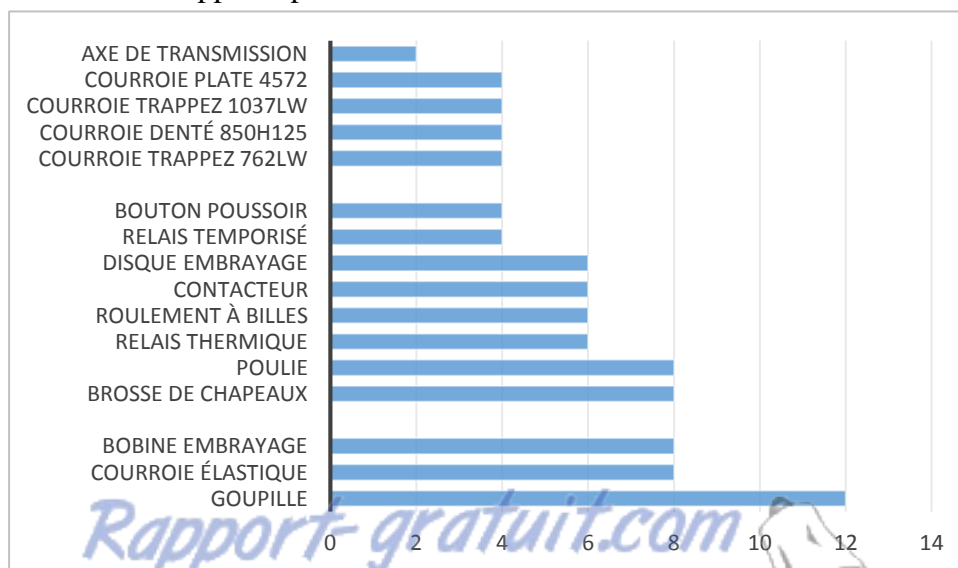
**Tableau 4.8.** AMDEC de la machine de carde « partie mécanique »

Organe	Fonction d'état	Mode de défaillance	Cause	Effet sur le système	Criticité				Action à engager
					Fr	Gr	D	IPR	
Courroie élastique	Transmette le mouvement	Rupture	mauvais alignement	Arrêt	2	1	4	8	changement
Courroie trappez 762LW	Transmette le mouvement	Rupture	mauvais alignement	Arrêt	1	1	4	4	changement
Courroie denté 850H125	Transmette le mouvement	Rupture	mauvais alignement	Arrêt	1	1	4	4	changement
Courroie trappez 1037LW	Transmette le mouvement	Rupture	mauvais alignement	Arrêt	1	1	4	4	Changement
Disque d'embrayage	Transmette le mouvement	Cassure	mauvais alignement	mauvais fonctionnement	1	2	3	6	à Réparer
Courroie plate 4572	Transmette le mouvement	Rupture	mauvais alignement	Arrêt	1	1	4	4	Changement
Roulement à billes	guidage	cassure	Pièces non conforme	mauvais fonctionnement	1	2	3	6	changement
Axe de transmission	Transmette le mouvement	cassure	Vibration Usure	mauvais fonctionnement	1	1	2	2	changement
Goupille	Liaison	cisaillement fissuration déformation	Vibration blocage	Arrêt	4	1	3	12	changement
brosse de chapeaux	guidage	cassure	Vibration Usure	mauvais fonctionnement	2	2	2	8	à Réparer
Poulie	guidage	cassure, blocage	Vibration Usure	Arrêt	2	2	2	8	à Réparer

**Résultats :** L'organe critique est la goupille

#### 4.5.3. Classement les résultants de criticité

L'histogramme 4.1 de criticité 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 sa criticité.

**Histogramme 4.1.** Résultats de criticité

Selon l'histogramme nous pouvons dire que la majorité des organes qui ont une criticité importante sont localisés au niveau de l'intérieur la machine de carde, c'est la goupille qui a une criticité plus élevée.



**Figure 4.9.** Image d'une goupille

#### 4.6. Détermination des paramètres de fiabilité des organes sélectionnés

##### 4.6.1. Cas de la machine de cardage

Le calcul des paramètres de fiabilité dépend en premier lieu de la fonction de répartition estimée.

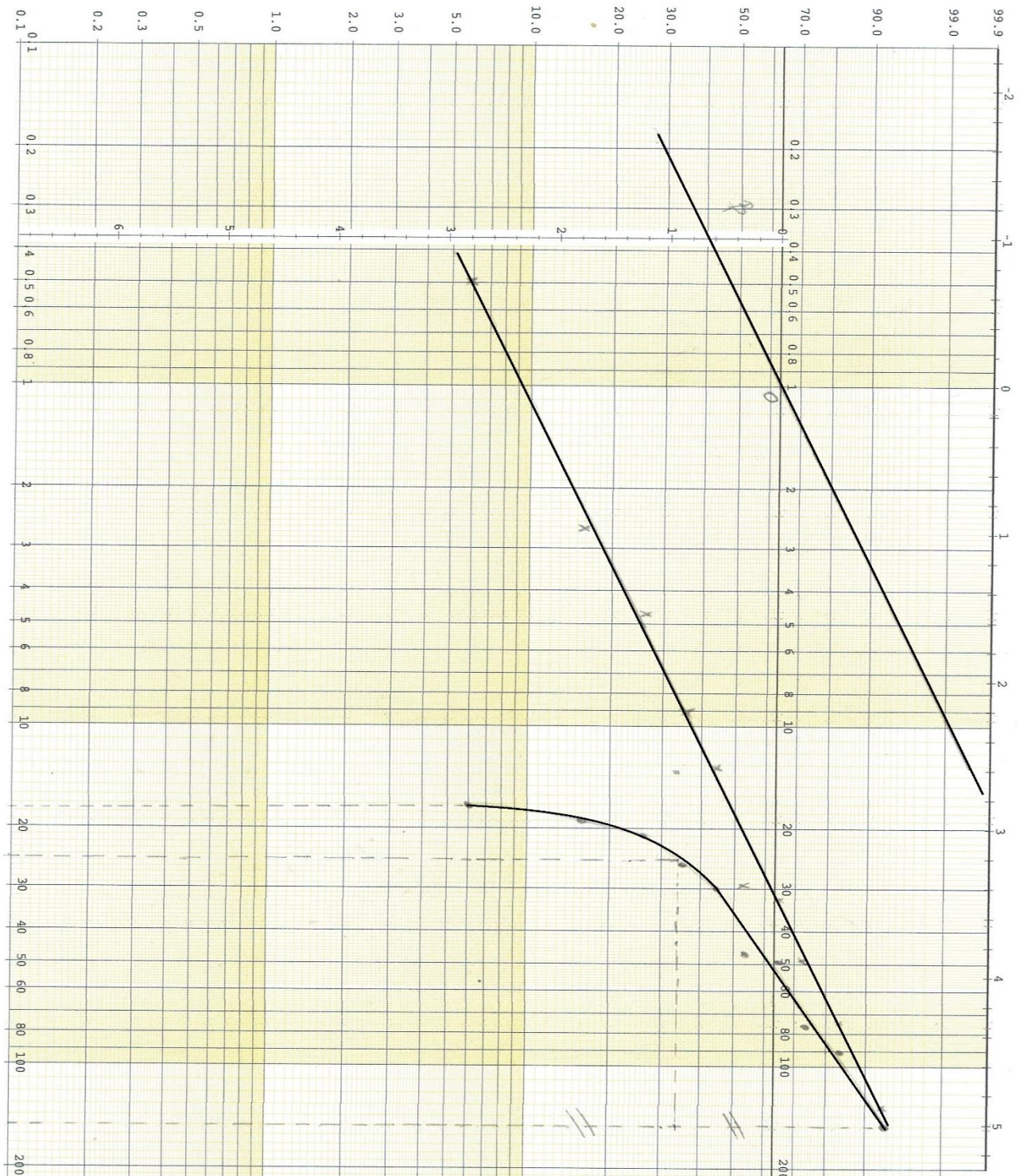
**Tableau 4.9.** Préparation des données

Ordre i	Valeurs TBF	F estimée	R estimée
1	256	0,06	0,94
2	288	0,16	0,84
3	320	0,26	0,74
4	384	0,35	0,65
5	448	0,45	0,55
6	688	0,54	0,46
7	736	0,64	0,36
8	992	0,74	0,26
9	1360	0,84	0,16
10	2240	0,94	0,06



### Tracé sur le papier d'Allain Plait

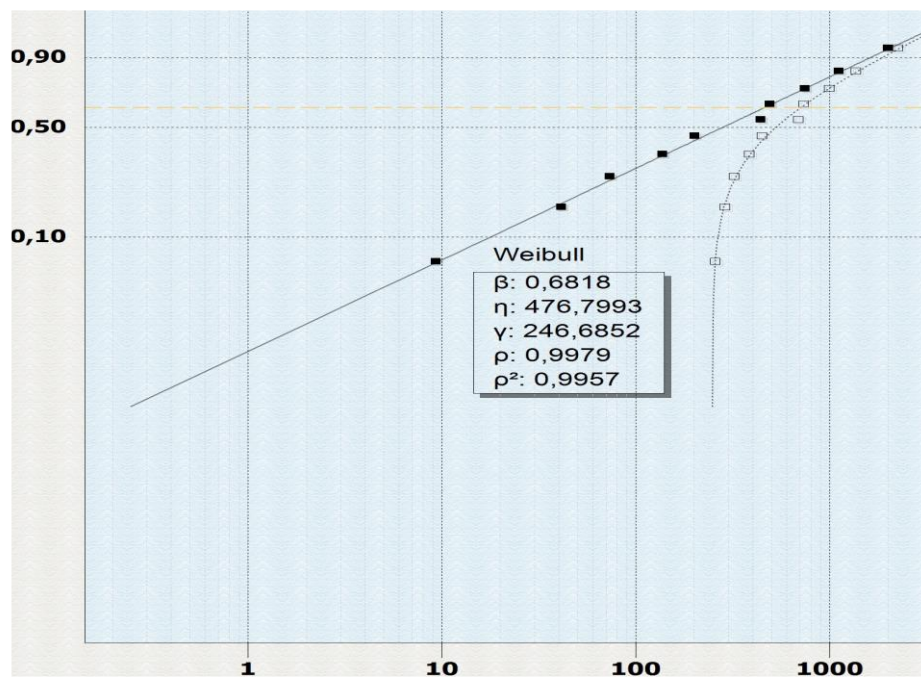
Le traçage des données est représenté sur le papier de "WEIBULL" ou "ALLAINPLAIT », voir figure (4.10),



**Figure 4.10.** Détermination graphique de la droite de Weibull

La détermination graphique des paramètres de fiabilité:

$\beta = 0.66$  ;  $\eta = 480$  heures ;  $\gamma = 248.94$  ; MTBF = 711 h.



**Figure 4.11.** Détermination numérique de la droite de Weibull

La détermination numérique des paramètres de fiabilité:

$$\beta = 0.68 ; \eta = 476.79 \text{ heures } \gamma = 246.68$$

#### 4.6.2. Analyse des résultats théoriques

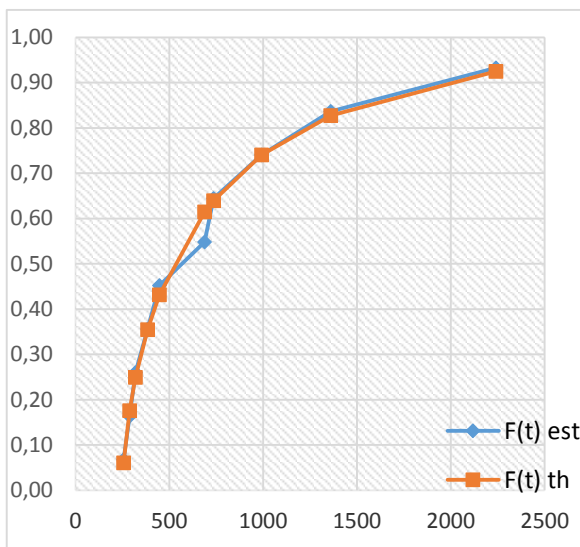
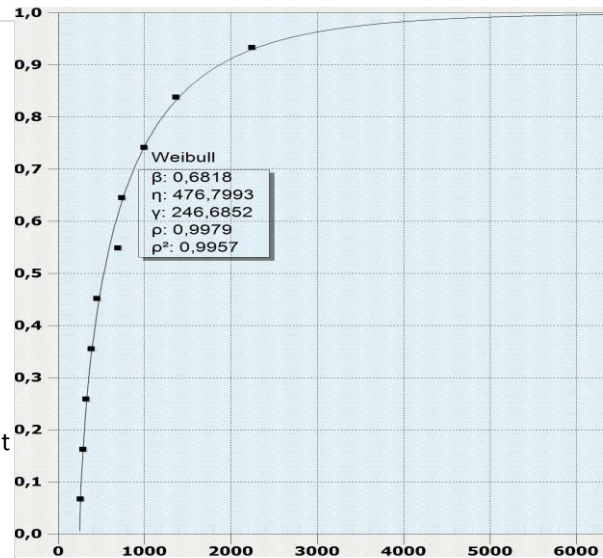
Ci-joint le tableau récapitulatif et comparatif des résultats déterminés à l'aide de la loi de fiabilité.

**Tableau 4.10.** Tableau des résultats

Ordre i	Valeurs TBF Classe croissant	R Théorique	F Théorique	Taux de défaillance $\lambda(t)$ $10^{-5}$	Densité de probabilité de défaillance
1	256	0.94	0,06	71.87	0,00675233
2	288	0.82	0,18	40.17	0,00331251
3	320	0.75	0,25	32.78	0,00246155
4	384	0.65	0,35	26.35	0,00170110
5	448	0.57	0,43	23.09	0,00131224
6	688	0.39	0,61	17.65	0,000068066
7	736	0.36	0,64	17.04	0,000061416
8	992	0.26	0,74	14.76	0,000038323
9	1360	0.17	0,83	12.87	0,000022182
10	2240	0.08	0,92	10.55	0,000007966



## Représentation des courbes de répartition estimée et théorique

Figure 4.12. Fonctions  $F(t)$  graphiqueFigure 4.13. Fonction  $F(t)$  numérique

On remarque sur la figure (4.12), que les courbes de répartition ( $F_{est}$  et  $F_{th}$ ) sont très proches l'une de l'autre et donnent une bonne corrélation avec la courbe numérique figure (4.13). Ceci nous a permis de valider notre travail de diagnostic et d'expertise de l'élément le plus défaillant afin d'optimiser la maintenance sur cet organe. Alors, on trace les courbes de fiabilité estimée et théorique.

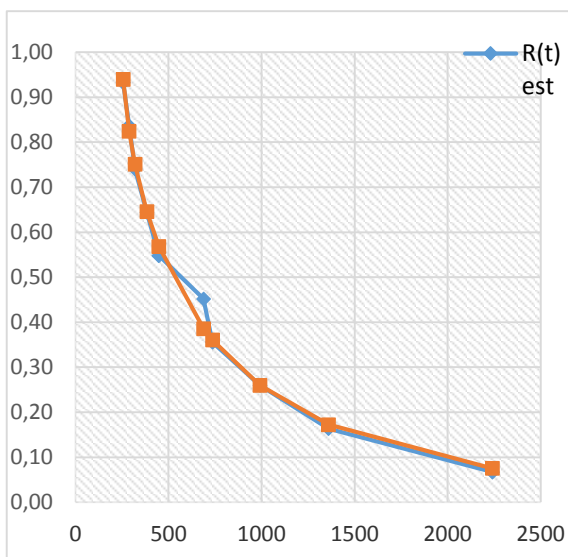


Figure 4.14. Fonctions de fiabilité graphique

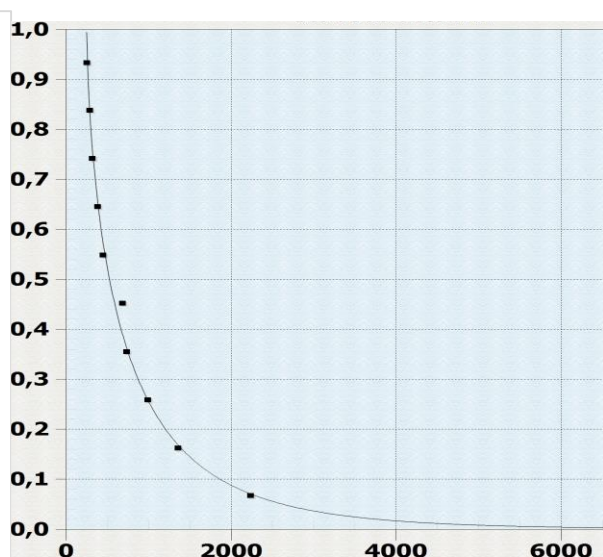
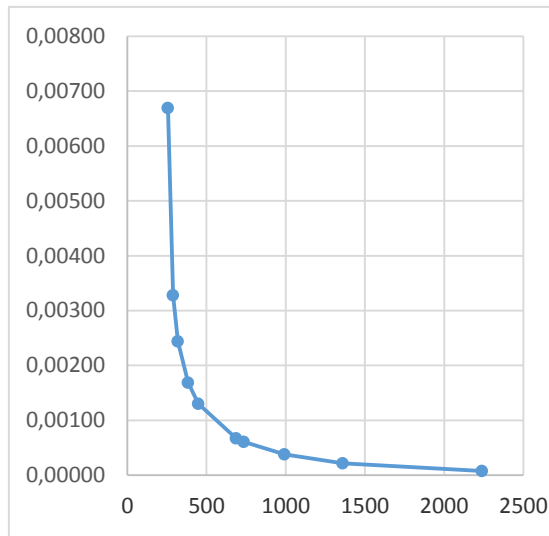
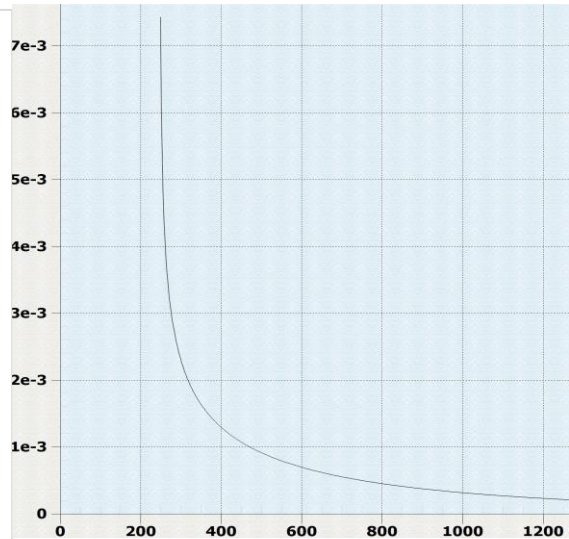


Figure 4.15. Fonction de fiabilité numérique

On remarque sur la figure (4.14), que les courbes de fiabilité ( $R_{est}$  et  $R_{th}$ ) sont très proches l'une de l'autre et sont en très bonne corrélation avec la courbe numérique, voir figure (4.15).

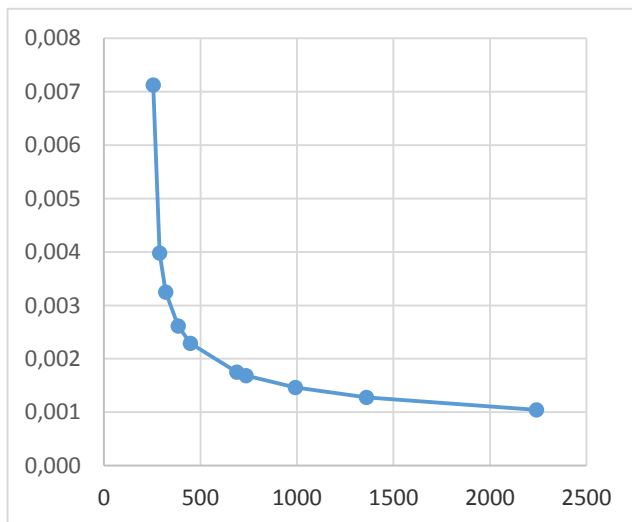


**Figure 4.16.** Fonction  $f(t)$  graphique

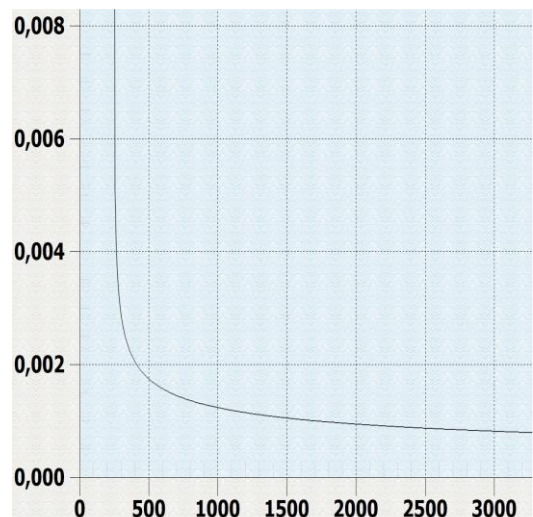


**Figure 4.17.** Fonction  $f(t)$  numérique

On remarque que la fonction de densité de probabilité de défaillance  $f(t)$  sur la figure 4.16. donne une bonne corrélation avec la fonction de densité sur la figure 4.17.



**Figure 4.18.** Fonction  $\lambda(t)$  graphique



**Figure 4.19.** Fonction  $\lambda(t)$  numérique

Le taux de défaillance est bien représenté par un tronçon distinct sur les figures (4.18) et (4.19), il montre bien que l'organe étudié subit une dégradation anormale, ce qui est confirmé par le paramètre ( $\beta=0.68$ ). Ceci nécessite au service de maintenance de prévoir un plan préventif pour le suivi de cet organe et améliorer la production au niveau de l'atelier de préparation de filature qui fonctionne actuellement en grande difficulté.

**Interprétation :**

L'application des outils développés en fiabilité, comme Pareto, AMDEC et Noiret nous ont permis de bien mener notre travail de diagnostic et d'expertise des équipements défaillants et présentant des pertes de production et des arrêts très coûteux à l'atelier et au complexe. Ainsi, ils permettent de déterminer l'élément le plus critique de la chaîne de production. Cet élément détecté dans notre étude et qui influe sur le fonctionnement de la machine, c'est la goupille de fixation de la poulie au système qui transmet le mouvement du moteur électrique vers le système de peigne qui ordonne le fonctionnement de la machine et de la chaîne de façon globale.

Comme résultats de notre diagnostic et de notre suivi pratique du problème au niveau de l'atelier de préparation de filage, on a constaté que l'origine de la défaillance c'est le blocage de la peigne de la machine par accumulation de la poussière du coton par insuffisance d'aspiration, qui engendre la cassure de la goupille de sécurité du système de transmission.

**4.7. Analyse des résultats**

Le diagnostic de cet organe critique par les méthodes « ABC » et « AMDEC » nous a permis de déterminer les paramètres de fiabilité ( $\gamma$  ;  $\beta$  ;  $\eta$  ;  $\lambda$ ) et de faire un choix de la politique de la maintenance à appliquer.

Dans notre cas, il faut assurer une maintenance corrective pour éviter l'arrêt des machines et une maintenance préventive basée sur des contrôles et des inspections périodiques, avec un suivi rigoureux de cet organe sensible qui peut provoquer l'arrêt des équipements et une perte de production importante et coûteuse au niveau de tous les ateliers, en particulier au niveau de l'atelier de filature qui revient très cher à l'entreprise.

Dans le but savoir la politique de maintenance à suivre on a calculer le cout de la maintenance de l'organe défaillant.

**Tableau 4.11.** Tableau de coût financier de la goupille [33]

Paramètres	Formules	Cout maintenance corrective (DA)	Cout de maintenance systématique (DA)
A=nombre de défaillance /mois	$A=30/ [MTBF \text{ ou } MTBM]$	$30/44=0.68$	$30/40=0.75$
B1=cout de la main d'œuvre direct d'une réparation	B1=taux horaire x nombre d'homme x heure travaillée	$120*2*1=240$	$120*2*0.5=120$
B2 =cout des pièces d'usure d'une réparation		10	10
B= cout des pièces d'usure et main d'œuvre de réparation	$B=B1+B2$	240	120
C=cout de maintenance direct/mois	$C=A \times B$	170	97.5
D=cout de perte de production/mois	$D=A \times \text{temps d'arrêt de production} \times \text{cout d'arrêt}$	$0.68*1*100=68$	0
E=cout des dommages à l'équipement	$E=A \times \text{cout des dommages}$	$0.68*1200=816$	0
F= cout de maintenance indirect		6000	0
G= cout financier l'entreprise/mois	$G=F+E+D+C$	7054	97.5

#### 4.8. Conclusion

Le travail fait dans ce chapitre nous a permis d'analyser les types des défaillances au niveau de l'atelier de filature de l'entreprise DENITEX. Le choix du diagnostic au niveau de cet atelier de filature constitue le goulot d'étranglement, car l'arrêt de l'un de ses équipements perturbe la production au niveau des ateliers de tissage et de finissage. La mise en application de la fiabilité opérationnelle est primordiale pour le choix d'une politique de la maintenance préventive, grâce à la détermination des paramètres de fiabilité des équipements sélectionnés par les méthodes d'analyse utilisées en fiabilité à savoir la méthode : « ABC » et l'analyse par «AMDEC ». La direction de la maintenance au niveau du complexe «DENITEX » aura donc un outil très efficace pour le suivi de la dégradation des équipements au niveau de ces ateliers. Cette étape est très importante, car elle facilite la gestion, l'élaboration des dossiers machine et la préparation des procédures de la maintenance préventive. On a constaté un manque énorme des données et de la documentation ce qui a rendu difficile de mener à bien notre travail.

## Conclusion Générale

Il ressort de notre stage de projet fin étude, qui a été très bénéfique au complexe Denitex-Sebdou, que ce séjour en entreprise est indispensable à la formation des masters et aux futures cadres techniques compétents. A travers notre travail de projet de fin des études, nous avons vécu toute la dimension réelle de la maintenance dans l'industrie textile, qui doit s'intégrer dans l'usine comme une fonction clé et garante d'une production continue.

L'étude effectuée a montré qu'à chaque outil de production correspond un type de maintenance bien déterminé, lequel est fonction de son utilisation. Le choix de maintenance spécifique proposé s'inscrit dans le cadre d'une politique globale qui doit être maintenue, soutenue et vulgarisée par le département de la maintenance et de l'entreprise. Cette politique, n'a pas été dans un premier temps distinguée comme la plus économique car elle exige des investissements importants et des fonds, mais elle s'est finalement révélée être la plus rentable pour la production. Elle permet de survivre grâce à la fonctionnalité de ses machines et la qualité de leur rendement, de grandir et de se développer, tout en assurant la continuité de ses prestations par le respect des délais de livraison et des exigences du client : il s'agit de la politique aboutissant à l'obtention d'un coût global optimal.

Ce projet nous a permis, d'une part d'approfondir nos connaissances sur les méthodes de maintenance et d'autre part de renforcer notre esprit sur l'organisation et la gestion technique des entreprises mais aussi de profiter des connaissances acquises à l'université et de l'expérience professionnelle en milieu industriel. Cependant quelques difficultés ont été rencontrées dans la recherche des fiches de suivi des équipements, dans la collecte des données et dans la cotation des défaillances. Ceci s'explique par le manque d'un suivi sérieux des machines de production, notamment les équipements spécifiques. Toutefois, le département de maintenance, par sa nouvelle politique, est aujourd'hui en mesure de rectifier le tir pour atteindre son objectif principal qui consiste à réduire le coût de la production et diminuer les coûts de la maintenance.

L'application des outils développés en fiabilité, comme Pareto, AMDEC et Noiret nous ont permis de bien mener notre travail de diagnostic et d'expertise des équipements défaillants et présentant des pertes de production et des arrêts très coûteux à l'atelier et au complexe.

Ainsi, ils permettent de déterminer l'élément le plus critique de la chaîne de production. Cet élément détecté dans notre étude et qui influe sur le fonctionnement de la machine, c'est la goupille de fixation de la poulie au système qui transmet le mouvement du moteur électrique vers le système de peigne qui ordonne le fonctionnement de la machine et de la chaîne de façon globale.

Comme résultats de notre diagnostic et de notre suivi pratique du problème au niveau de l'atelier de préparation de filage, on a constaté que l'origine de la défaillance c'est le blocage de la peigne de la machine par accumulation de la poussière du coton par insuffisance d'aspiration, qui engendre la cassure de la goupille de sécurité du système de transmission. On prévoit comme premier résultat de faire un suivi par une maintenance conditionnelle et de placer un système aspiration sur la machine et surveiller la dégradation de cet équipement. La détermination de la durée de vie exprimée en moyen temps de bon fonctionnement (MTBF) et d'orienter directement le type de maintenance à appliquer, il faut assurer une maintenance corrective pour éviter l'arrêt des machines, et faire un suivi rigoureux de cet organe sensible qui peut provoquer l'arrêt des équipements et une perte de production importante et coûteuse au niveau de tous les ateliers, en particulier au niveau de l'atelier de filature qui revient très cher à l'entreprise.

On propose au département de maintenance du complexe de rechercher en permanence les défaillances imprévues et leur criticité et, de faire appel à des techniques prédictives et des inspections qui permettent de vérifier l'état des machines avant la défaillance,

On a déduit que les équipements de la préparation filature sont les plus sensibles et influent directement sur les coûts de la maintenance et sur la production en générale.

En termes de perspective, nous envisageons la détermination des paramètres de la fiabilité et la période optimale de maintenance préventive par la méthode de weibull évolué qui permet d'orienter directement le choix du type de maintenance en fonction des données.

On prévoit la mise en œuvre d'un logiciel de traitement des données en temps réel et de mettre en place une maintenance prévisionnelle gérée par modélisation et par simulation numérique.



---

## Bibliographie

- [1] S. Benissaad, Cours de maintenance industrielle, Tec 336, 2008
- [2] H.P. Ramella. Maintenance des turbines à vapeur. Techniques de l'ingénieur, Référence BM4186. 2002.
- [3] S. Fougeresse, Pratique de la maintenance industrielle par le coût global, 2000
- [4] C. A ,Benedetti . Introduction à la gestion des opérations (4e éd). Québec: Sylvain Ménard. 2002.
- [5] I.W Bur,. Statistical quality control methods. Marcel Dekker, 1976.
- [6] E. Deloux, B. Castanier, and C. Bérenguer. Construction d'un schéma de maintenance pour des systèmes soumis à des contraintes de stress. In 7<sup>ème</sup> Journée des Doctorants de l'Ecole Doctorale S.T.I.M., 2007.
- [7] F. Monchy. Maintenance Méthodes et Organisations, 2<sup>ème</sup> édition. Paris: Dunod (2003).
- [8] D. Ghosh, Sandip Roy, Maintenance optimization using probabilistic cost benefit analysis. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 2009; 22(4): 403-407.
- [9] H. Ahmed, Attia Daoudi and Kouider Laroussi, Application of fuzzy diagnosis in fault detection and isolation to the compression system protection. Control and Intelligent Systems ACTA Press, July 2011, vol. 39, no. 3, pp. 151-158.
- [10] F. Monchy . Maintenance: Méthodes et Organisations. Edition DUNOD. 2000.
- [11] S.Nakajima. La maintenance productive totale (TPM), nouvelle vague de la production industrielle. Edition Afnor Gestion. 1987.
- [12] W.J. Hopp, Y.L. Kuo, An optimal structured policy for maintenance of partially observable aircraft engine components. Naval Research Logistics, 45/4 : 335-352,1998.
- [13] B. Castanier. Modélisation stochastique et optimisation de la maintenance conditionnelle des systèmes à dégradation graduelle. Thèse de l'Université de Technologie de Troyes. 2002.
- [14] C. Hohmann. Techniques de productivité. Eyrolles . 2009.
- [15] AFNOR : Recueil des normes françaises .X06, X05, X60. AFNOR 1998
- [16] A. Hoyland .and M. Rausand, System Reliability Theory - Models and Statiscal Methods, Wiley Series in Probability and Mathematical Statistics – (2nd ed.), Wiley, Hoboken, 2004.
- [17] H. Procaccia, E. Ferton, and M. Procaccia., Fiabilité et maintenance des matériels industriels réparables et non réparables. Edition Lavoisier, 2011.



- 
- [18] A. Villemeur. Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels : fiabilité, facteurs humains, informatisation. Edition Eyrolles, Paris, 1988.
- [19] A. Kaufman, D. Grouchko, R. Cruon . Modèles mathématiques pour l'étude de la fiabilité des systèmes. Edition Masson. 1975.
- [20] M. Xie ., Dai Y.S., Computing Systems Reliability: Models and Analysis , Kluwer Academic Publishers: New York, U.S.A., April 2004.
- [21] M. Parlar , Servey of maintenance model for multi unit système , europeen journal of operation resaerch, vol 51/1, pp 1-23 . 1991.
- [22] J . Marie « Maintenance industrielle » édition " Marketing " ; Paris, 2004, page 218
- [24] A.Boulenger, C. Pachaud. Analyse vibratoire en maintenance: surveillance et diagnostic des machines. Editions Dunod. 2003.
- [25] P. Estocq. Une approche méthodologique numérique et expérimentale d'aide à la détection et au suivi vibratoire de défauts d'écaillage de roulements à billes. Thèse de l'université de Reims. 2004.
- [26] D. Pajani. Thermographie - Principes et mesure. Techniques de l'ingénieur . 2001.
- [27] R.K.Mobley. La maintenance prédictive. Organisation industrielle, Editions Masson. 1992.
- [28] G. Zwingelstein . Diagnostic des défaillances - théorie et pratique pour les systèmes industriels. Traité des nouvelles technologies, série Diagnostic et Maintenance. Edition Hermès. 1995.
- [29] J , Claude, Patrick Lyonnet, La fiabilité en exploitation ; organisation et traitement des données, Edition Lavoisier Paris ,1993.
- [30] CRTA. La méthodologie AMDEC, novembre 2004. Pages 2- 9.
- [31] 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.
- [32] CRTA. La Gestion de Production au sein de l'entreprise. Maintenance l'abaque de Noiret, pages : 2-3-8.
- [33] X. Zwingmann et J.M. Papillon. Comment développer et mettre en œuvre un programme de maintenance et de fiabilité des équipements critiques, 16 Octobre 2014, édition STI Maintenance 2010.
-

## Webographie

[23][http://maintenance.dechamps.free.fr/BTS%20MI/STRATEGIE%20DE%20MAINTENANCE/1\\_cours/218%20-%20Etablissement%20des%20plans%20de%20maintenance/218%20-%20Maintenance%20pr%C3%A9ventive%20-%20plans%20de%20maintenance.pdf](http://maintenance.dechamps.free.fr/BTS%20MI/STRATEGIE%20DE%20MAINTENANCE/1_cours/218%20-%20Etablissement%20des%20plans%20de%20maintenance/218%20-%20Maintenance%20pr%C3%A9ventive%20-%20plans%20de%20maintenance.pdf)

