République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A.MIRA Bejaïa
Faculté de Technologie
Département de Génie Mécanique

جامعة بجاية
Tasdawit n'Bgayet
Université de Béjaïa

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Génie Mécanique
Option : Maintenance Industrielle

Thème

OPTIMISATION DES COUTS DE MAINTENANCE AU SEIN DE L'UNITE DE CONDITIONNEMENT D'HUILE (GROUPE CEVITAL)

Réalisé par :

DJEDJIG Massinissa
BOUREFOUF Amirouche

Membres du jury :

M^{r} LAGGOUNE	Président du jury.
M^{r} HAMRI	Examinateur.
M^{lle} AKILAL	Examinatrice.
M^{r} SAD - EDDINE	Encadreur.

Année universitaire : *2012 /2013*

Remerciements

Nous remercions le Bon Dieu de nous avoir donné le courage d'élaborer ce modeste travail.

Nous tenons à remercier M^{r} SAD-EDDINE pour l'honneur qu'il nous a fait en acceptant de nous encadrer et pour ces précieux conseils.

Nous remercions également le président du jury M^{r} LAGGOUNE ainsi que M^{r} HAMRI et M^{lle} AKILAL pour avoir accepté de juger notre travail.

Nous remercions tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A la mémoire de mes parents et que Dieu les accueille dans son vaste paradis.

A mes très chers frères et sœurs qui m'ont encouragé et soutenu.

A ma famille que j'aime tant.

A mes enseignants (tes) qui m'ont formé.

A mes amies et amis.

A toute la promotion Génie Mécanique.

A tous ceux qui m'aiment,

Amirouche

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents qui m'ont encouragé tout au long de mes études, que Dieu les préserve de tout malheur,

A mon petit frère Samy que j'aime tant,

A ma famille et mes amis (es) qui m'ont soutenu,

A mes enseignants (tes) qui m'ont formé,

A toute la promotion Génie Mécanique,

A tous ceux qui m'aiment,

Massi

C(t)	Coût global de la maintenance
C_m	Coût de pièce de rechange
C_d	Coût des défaillances
C_p	Coût de l'entretien préventif
C_s	Coût de main d'œuvre
F(t)	Fonction de répartition
f(t)	Densité de probabilité
MTBF	Moyenne des temps de bon fonctionnement
P_e	Perte d'énergie
P_m	Perte de matière première
P_p	Perte de production
PR	Pièce de Rechange
R(t)	Fonction de fiabilité
T	Période
T_o	Période optimale
TBF	Temps de Bon Fonctionnement
TPM	Maintenance Productive Totale
$\lambda(t)$	Taux de défaillance dépendant du temps
$\eta(eta)$	Paramètre d'échelle de la loi de Weibull
$\beta(beta)$	Paramètre de forme de la loi de Weibull
Π	Produit

Introduction générale 02

Présentation de l'unité de conditionnement d'huile de CEVITAL 05

I.1. Présentation générale de l'unité de conditionnement d'huile 06

I.2. Les lignes de production et leur capacité 06

I.3. Description des différentes machines utilisées 07

I.3.1. Souffleuses 07

I.3.2. Convoyeur à air rafale 08

I.3.3. Remplisseuse 08

I.3.4. Etiqueteuses 08

I.3.5. Dateurs 08

I.3.6. Déviateurs de bouteilles 08

I.3.7. Fardeleuse 08

I.3.8. Palettiseur 09

I.3.9. Banderoleuses 09

I.4. Les étapes de conditionnement 09

I.5. Les unités de stockages 10

I.6. Organigramme de l'unité de conditionnement d'huile 10

Conclusion 10

Généralités sur la Maintenance 11

Introduction 12

II.1. Types de maintenance 12

II.1.1. Maintenance corrective 12

II.1.2. Maintenance préventive 13

II.2. Effets de la maintenance sur la fiabilité des systèmes 15

II.2.1. Réparation parfaite 15

II.2.2. Réparation minimale 15

II.2.3. Réparation imparfaite 16

II.2.4. Réparation mauvaise 17

II.3. Formes de remplacement préventif 17

II.3.1. Remplacement selon l'âge 17

II.3.2. Renouvellement périodique 18

II.4. Regroupements des activités de la maintenance 18

II.4.1. Regroupements stationnaires 18

II.4.2. Les regroupements dynamiques 19

II.5. Organisation des opérations de maintenance 20

II.5.1. Les équipements à suivre 20

II.5.2. Choix d'une politique de maintenance 21

II.6. Orientation des politiques de la maintenance 22

II.6.1. La Maintenance Productive Totale (TPM) 23

II.6.2. La maintenance basée sur le « Life Cycle Cost (LCC) » 24

II.6.3. La maintenance Basée sur la Fiabilité (MBF) » 24

II.7. Politiques de maintenance 24

II.7.1. Politique de maintenance dépendant de l'âge 24

II.7.2. Politique de maintenance préventive périodique 25

II.7.3. Politique de la limite de défaillance 26

II.7.4. Politique de maintenance préventive séquentielle 26

II.7.5. Politique de la limite de réparation 26

II.7.6. Politique de nombre de réparation et du temps de référence 26

II.8. Les coûts de maintenance 26

II.8.1. Couts directs de la maintenance 27

II.8.2. Couts indirects de la maintenance 27

Conclusion 27

Théorie de la fiabilité 29

Introduction 30

III.1. Définition 30

III.1.1. La fiabilité 30

III.1.2. Panne 31

III.1.3. Défaillance 31

III.1.4. La durée de vie 32

III.1.5. La durée de survie 32

III.1.6. Matériel réparable 32

III.1.7. Matériel irréparable 33

III.2. Indices de fiabilité 34

III.2.8. Fonction de répartition et de fiabilité 34

III.2.9. Taux de défaillance 34

III.2.10. Fiabilité des systèmes 36

III.3. Eléments statistiques en fiabilité 38

III.3.11. Les données du retour d'expérience 38

III.3.12. Principales distribution utilisées dans le domaine de la fiabilité 38

Conclusion 40

Analyse de la fiabilité des équipements 41

Introduction 42

IV.1. Collecte des données 42

IV.2. Choix des équipements critiques 43

IV.3. Estimation des paramètres de Weibull 44

IV.3.1. Indices de fiabilité 44

IV.3.2. Evaluation des fonctions de fiabilité 45

Conclusion 47

Optimisation du renouvellement 48

Introduction 49

V.1.Choix des composants 49

V.2.Evaluation des coûts de maintenance 50

V.3.Renouvellement optimal 51

V.3.1 Politique de remplacement périodique et réparation minimale 51

V.4.Regroupement des remplacements préventifs 53

Conclusion 54

Conclusion générale 55

Figure I.1 : Souffleuse SBO 10/710 07

Figure I.2 : Les étapes de conditionnement 09

Figure I.3 : Organigramme de l'unité de conditionnement d'huile 10

Figure II.1 : L'état du système après une réparation parfaite 15

Figure II.2 : L'état du système après une réparation minimal 16

Figure II.3 : L'état du système après une réparation imparfaite 16

Figure II.4 : L'état du système après une réparation mauvaise 17

Figure II.5 : Remplacement selon l'âge 18

Figure II.6 : Renouvellement périodique : 18

Figure II.7 : Courbe de Pareto (ABC) : 21

Figure II.8 : Arbre de décision pour le choix d'une politique maintenance 22

Figure III.1 : Chronogramme d'un matériel réparable 33

Figure III.2 : Chronogramme d'un matériel irréparable 33

Figure III.3 : Courbe baignoire 35

Figure III.4 : Diagramme de fiabilité (configuration en série) 36

Figure III.5 : Diagramme de fiabilité (configuration en parallèle) 37

Figure IV.1 : Courbe ABC des équipements de la ligne ERCA2 43

Figure IV.2 : courbe de fiabilité du modèle de Weibull 46

Figure IV.3 : densité de probabilité du modèle Weibull 47

Tableau I.1 : Débits de production 06

Tableau IV.1 : Résultat de l'analyse ABC 43

Tableau IV.2: Résultat d'analyse des paramètres de Weibull par wblfit 44

Tableau IV.3: Résultat du calcul de la moyenne des temps de bon fonctionnement 44

Tableau V.1 : Les composants choisis 50

Tableau V.2 : Les coûts moyens de maintenance 51

Tableau V.3 : Temps optimaux de renouvellement 53

INTRODUCTION GENERALE

Pour réussir dans le nouveau contexte industriel, l'entreprise doit offrir des produits et des services de bonne qualité et à moindre coût. Pour satisfaire la demande en qualité et en quantité tout en respectant les délais de livraison et les coûts de production, elle doit disposer d'un système de production fiable. Actuellement, l'entreprise accorde de plus en plus d'importance aux coûts induis par les défaillances accidentelles des systèmes de production, alors que la maintenance jusqu'à très récemment n'était considérée que comme un centre de coût.

En effet, la maintenance devrait être considérée comme étant une fonction essentielle au sein de l'industrie, dans le but d'améliorer leur performance, notamment pour la disponibilité des moyens de production. Le bon fonctionnement d'un équipement est susceptible de conditionner la performance globale de l'entreprise.

Maintenir l'appareil de production n'est pas une tâche aisée. Les concepts de la maintenance sont définis pour maximiser la performance globale de l'entreprise, la mise en œuvre de ces concepts exige des ressources humaines compétentes, une gestion de pièces de rechange adéquate et un système d'information bien pensé, pour assurer un échange efficace entre les différents intervenants.

Le vieillissement des installations industrielles est une « maladie » inévitable qui se traduit par une dégradation des performances des matériels, systèmes et structures, ou bien par perte de leurs fonctions. Heureusement, un certain nombre de techniques (maintenance, rénovation, remplacement) sont susceptibles de ralentir et de limiter ce vieillissement, permettant ainsi d'optimiser la durée de vie des installations tout en maitrisant les phénomènes de dégradation.

Quelque soit la complexité d'une installation industrielle, la connaissance des caractéristiques de fiabilité est essentielle, elle conditionne la politique de maintenance et décrit la durée de vie, l'usure, la présence des défauts, et contribue à l'optimisation des temps de remplacement préventif.

L'objectif de ce travail est de minimiser les coûts induits par les défaillances. Pour cela, on propose de mettre en place une stratégie de maintenance adaptée pour y parvenir.

Dans le cadre de ce travail on essayera de répondre aux questions suivantes :

- Quelles sont les performances de ces installations ?
- Quelles sont les pièces (équipements) critiques ?
- Quelle est la stratégie de maintenance la mieux adaptée ?

Pour répondre à toutes ces questions, on introduira les concepts de fiabilité et de la maintenance. On va analyser la fiabilité des équipements de cette entreprise, puis on réalisera une étude technico-économique qui permettra d'évaluer les temps optimaux de renouvellement.

Ce travail est composé de cinq chapitres. Dans le premier chapitre, nous présenterons l'unité de conditionnement d'huile du groupe CEVITAL. Dans le second chapitre, nous exposerons les notions de la maintenance et les outils d'organisation de la fonction maintenance. Au troisième chapitre, nous aborderons la théorie de fiabilité et les éléments statistiques utilisés dans ce domaine. Le quatrième chapitre illustrera l'analyse de la fiabilité des équipements de la ligne 1B, qui présente une des préoccupations majeures du département maintenance, en raison de son importance en termes du volume de production et aux temps d'immobilisation importants enregistrés. Le cinquième chapitre est consacré à l'optimisation des renouvellements des composants. Enfin, ce travail s'achève par une conclusion générale.

I

PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

I.1. Présentation générale de l'unité de conditionnement d'huile :

La description de l'unité de conditionnement d'huile a pour but de comprendre le parcours de la bouteille de la préforme jusqu'à la Banderoleuse passant par la remplisseuse pour définir la relation existant entre les lignes et la gestion des bacs.

I.2. Les lignes de production et leur capacité :

L'unité de conditionnement d'huile de Cevital est constituée actuellement de six lignes de production, trois pour la production des bouteilles de 5 litres, une pour les bouteilles de 1 litre, une ligne pour la production des bouteilles de 2 litres et une pour les bouteilles de 1.8 litre.

Le tableau suivant indique la capacité de production moyenne par heure pour chaque ligne :

Tableau I.1 : Débits de production

Formes	**Production/Heure**
5 litre A	9000
5 litre B	3000
5 litre C	5000
2 litre	12000
1.8 litre	12000
1 litre	12000

La matière utilisées pour les emballages est le P.E.T, les préformes sont soufflées par une souffleuse, les bouteilles formées sont remplies, étiquetées puis admises vers une fardeleuse et enfin vers une palettiseuse afin d'être stockées.

I.3. Description des différentes machines utilisées :

I.3.1. Souffleuses :

Les souffleuses sont des machines destinées à la fabrication des bouteilles à partir des préformes qui ont une structure de tube, fabriquées dans l'unité plastique. Pour atteindre ce but la souffleuse suit les étapes suivantes :

- Préchauffage des préformes ;
- Etirage axial mécanique ;
- Etirage radial par soufflage d'air comprimé à 40 bars à l'intérieur d'un moule ;

La souffleuse est constituée de quatre parties principales :

- partie d'alimentation des préformes froides ;
- partie du four linéaire pour le préchauffage des préformes ;
- partie pour le soufflage des préformes ;
- Partie de sortie des préformes.



Figure I.1 : La Souffleuses SBO 10/710

I.3.2. Convoyeur à air rafale :

Les convoyeurs à air rafales sont des dispositifs destinés au transport des petites bouteilles en PET vide (un ou deux litres) de la souffleuse jusqu'à la soutireuse (remplisseuse), le transport est assuré par un soufflage d'air produit par les colonnes de ventilation équipées par des filtres garantissant un air propre.

I.3.3. Remplisseuse :

Les remplisseuses sont les unités chargées du remplissage des bouteilles du produit fini (l'huile) dont la vitesse de remplissage peut être variée.

La remplisseuse est constituée essentiellement de la cuve qui est remplie d'huile à partir des bacs journaliers par les pompes de soutirage. Ces cuves donnent une indication sur le niveau d'huile à l'intérieur à l'aide de quatre voyants reliés aux capteurs.

Cette même information est utilisée pour la variation de la vitesse des pompes ou leurs arrêts et démarrage.

I.3.4. Etiqueteuses :

Les étiqueteuses sont destinées à coller des étiquettes enveloppantes sur des récipients cylindriques portant des informations sur le produit et le fabricant.

I.3.5. Dateurs :

Ils servent à mentionner la date et l'heure de fabrication d'un produit. Chaque ligne dispose de deux types de dateurs, utilisant l'impression à jet d'encre ou la gravure directe sur la bouteille à l'aide d'un laser.

I.3.6. Déviateurs de bouteilles :

Ce sont des mécanismes destinés à repartir les bouteilles sur différents couloirs d'une manière homogène pour qu'elles soient regroupées dans des paquets enveloppés par la suite.

I.3.7. Fardeleuse :

La fardeleuse est la machine qui reçoit les bouteilles et les enveloppes dans un film en silicone.

I.3.8. Palettiseur :

Ces machines sont conçues pour superposer sur une palette plusieurs étages de fardeaux.

I.3.9. Banderoleuses :

Ces machines sont inclues pour envelopper la charge constituée de la palette et de plusieurs étages de fardeaux dans le but d'assurer la bonne tenue des bouteilles pour tout déplacement. La banderoleuse entoure la charge d'un film en silicone.

I.4. **Les étapes de conditionnement :**

Les différentes étapes sont schématise dans le schéma suivant :

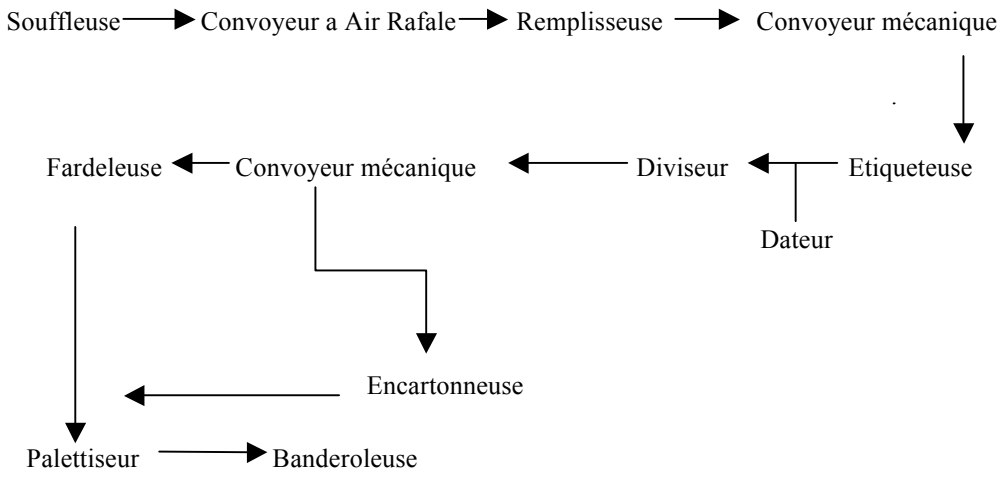


Figure I.2 : Les étapes de conditionnement

I.5. **Les unités de stockages :**

- Huile brute 4500T.
- Huile raffinée 1200T.
- Huile conditionnée 1200T.
- Stock pour pièce de rechange.

I.6. **Organigramme de l'unité de conditionnement d'huile :**

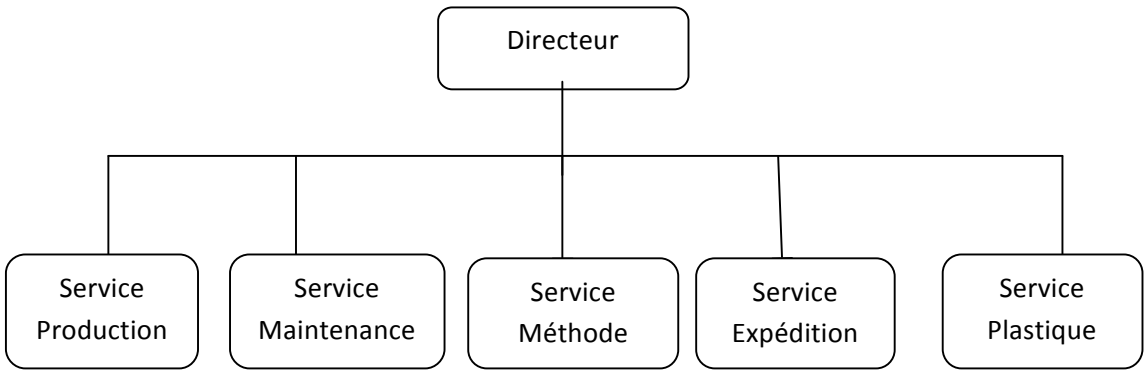


Figure I.3 : Organigramme de l'unité de conditionnement d'huile

Conclusion

Au sein de l'entreprise CEVITAL, nous avons eu l'occasion de s'infiltrer au monde pratique concernant les étapes de conditionnement d'huile et le rôle de la logistique qui s'occupera de la distribution de l'huile stockée.

Ça nous a permis d'avoir une image sur la réalité de l'application de la maintenance au sein de CEVITAL. La politique globale de cette entreprise est à prédominance productive, tous les efforts sont concentrés sur la production mais sans donner assez d'importance à la fonction maintenance.

Position du problème

Un inventaire annuel se fait au niveau de l'entreprise (CEVITAL) afin d'évaluer les objectifs tracés et leurs niveaux de satisfaction, pour élaborer un plan d'action améliorant les indicateurs de performance de chaque département.

Concernant le département maintenance, le plan se résume à définir un planning annuel contenant toutes les interventions préventives sur les équipements. Ce planning est basé sur des caractères donnés par le constructeur sur l'équipement à entretenir ou à remplacer. Pour éliminer tous risque de pannes, qui entraînent une perte de temps, perte de production qui veut dire perte d'argent. Les maintenanciers effectuent des changements à des périodes inférieures à celles données par le constructeur.

Notre étude porte sur l'une des conditionneuses d'huile (Ligne 1B). La ligne de production est de capacité 12000 bouteilles / h, divisée en neuf parties, chacune d'elles est exposée à des pannes pénalisantes.

L'objectif de cette étude, basée sur les données de retour d'expérience, est de localiser la partie la plus pénalisante (ou les parties les plus pénalisantes) de la ligne et d'identifier la période optimale d'intervention pour les composants qui consomment le plus en pièces de rechange de manière à assurer une disponibilité maximale, donc des coûts de défaillance minimaux.

.

II

GENERALITES SUR LA MAINTENANCE

Introduction

Les équipements de production et de service constituent une part importante du capital de la majorité des industries. Ces équipements sont généralement sujets à des dégradations avec l'utilisation et le temps. Par ailleurs, pour les unités à fonctionnement continu, le manque à gagner est élevé en cas d'arrêts. Par conséquent, la maintenance devient une nécessité. L'importance croissante de la maintenance a généré un intérêt sans cesse croissant dans le développement et la mise en œuvre de stratégies de maintenance pour l'amélioration de la fiabilité des systèmes, la prévention de défaillances et la réduction des coûts de maintenance.

II.1. Types de maintenance :

La norme AFNOR a définie la maintenance comme étant « l'ensemble des activités destinées à maintenir ou à rétablir un bien dans un état ou dans des conditions données de sûreté de fonctionnement, pour accomplir une fonction requise. Ces activités sont une combinaison d'activités technique, administratives et de management ».

D'une manière générale on peut distinguer deux grandes formes de maintenances : corrective et préventive. **[1]**

II.1.1. Maintenance corrective :

C'est « une forme délibérée d'entretien qui consiste, une fois la défaillance survenue, à en éliminer les effets et les causes ». **[1]**. Elle comporte :

II.1.1.1. Maintenance palliative :

Elle effectue une remise en état provisoire du matériel ayant subi un dysfonctionnement. C'est un dépannage. Cette maintenance est associée souvent à des systèmes qui ne présentent pas l'impératif de sécurité.

II.1.1.2. Maintenance curative :

Elle correspond à la remise en état de l'équipement et revêt un caractère définitif. L'équipement concerné par cette maintenance retrouve, après intervention, les caractéristiques qu'il avait avant l'apparition du problème.

II.1.1.3. Maintenance corrective d'amélioration :

Elle représente une forme dérivée de la maintenance curative. Elle ne se limite pas à la remise en état du système, mais elle implique en plus une modification de ses caractéristiques afin d'éviter la répétition du problème.

Avantages et inconvénients de la maintenance corrective :

- **Avantages :**
  - ✓ Faible coût d'entretien.
- **Inconvénients :**
  - ✓ Peut de sécurité des travailleurs ;
  - ✓ Stockage important des pièces de rechange ;
  - ✓ Temps de réparation élevé ;
  - ✓ Perte de production élevée.

II.1.2. Maintenance préventive :

Maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés (systématique) ou bien selon des critères prescrits (conditionnelle). Elle est destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien. C'est une politique qui s'adresse aux éléments qui provoquent une perte de production ou des coûts d'arrêts imprévisibles, mais importants. Elle comporte :

II.1.2.1. Maintenance préventive systématique :

Elle est effectuée selon un échéancier établi selon le temps ou le nombre d'unités d'usages. Généralement, la maintenance préventive s'adresse aux éléments dont le coût des pannes est élevé, le remplacement des composantes, se fait dans des échéances inférieures à leurs durées de vie, ce qui peut être considéré comme une sorte de gaspillage.

❖ **Avantages :**

✓ Réduction des coûts et des durées de maintenance par rapport à l'entretien curatif ;

✓ Bonne planification des opérations et des ressources ;

✓ Contrôle du niveau de stockage des pièces de rechange ;

✓ Généralement, peu de catastrophes ;

✓ Sécurité accrue ;

✓ Augmentation de la durée de vie d'un matériel par diminution des différentes pannes (réduction des surcouts d'investissement des matériels).

❖ **Inconvénients :**

✓ Révisions non nécessaires (l'entretien n'est pas en fonction de l'état de la machine, mais plutôt de la durée d'utilisation) ;

✓ Remplacement de pièces en bon état ;

✓ Création des défauts lors des remontages (si les procédures ne sont pas claires et contrôlées).

II.1.2.2. Maintenance préventive conditionnelle :

C'est un type de maintenance déclenché suite à des symptômes observables permettant de prédire une défaillance prochaine. Il s'agit d'intervenir juste avant que la panne ne survienne.

❖ **Avantages :**

✓ Réduction des coûts et de la durée de réparation par rapport à l'entretien préventif ;

✓ L'accroissement de la durée de vie des pièces par rapport à une politique de changement systématique (remplacement des pièces défectueuses uniquement) ;

✓ La suppression des défauts de jeunesse lors de remise en route après un entretien systématique.

- **Inconvénients :**
  - ✓ Nécessite une équipe de maintenance formée en analyse vibratoire et en contrôle non-destructif équipement de diagnostic de haute technologie (donc un coût d'investissement important).

II.1.2.3. Maintenance prévisionnelle :

Maintenance préventive subordonnée à l'analyse de l'évolution surveillée des paramètres significatifs de la dégradation du bien, permettant de retarder et de planifier les interventions. **[1]**

II.2. Effets de la maintenance sur la fiabilité des systèmes :

II.2.1. Réparation parfaite :

Ce type de maintenance suppose que l'effet de la maintenance est de remettre le système dans un état aussi bon que neuf « As good as new ».

On dit dans ce cas que l'efficacité de la maintenance est maximale. La figure qui suit, nous montre l'effet de la maintenance parfaite sur la fiabilité d'un système. **[3]**

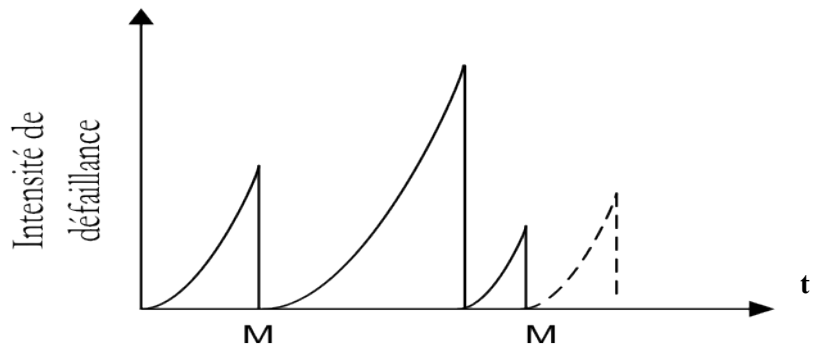


Figure II.1 : L'état du système après une réparation parfaite

II.2.2. Réparation minimale :

Ce type de maintenance suppose que l'effet de la maintenance est de remettre le système dans le même que celui juste avant la défaillance.

Après la maintenance le système est aussi mauvais que vieux « As bad as old ». On dit alors que l'efficacité de la maintenance est minimale. La figure qui suit, nous montre l'effet de la maintenance minimale sur la fiabilité d'un système. **[3]**

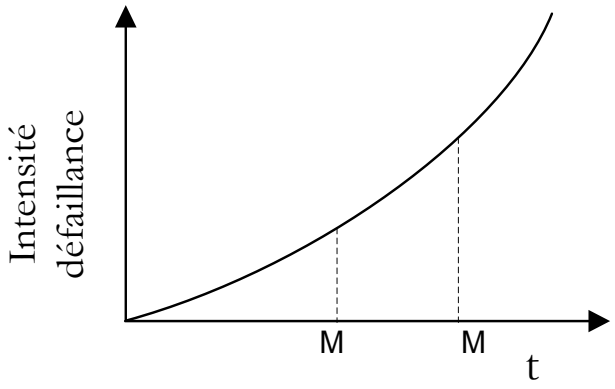


Figure II.2 : L'état du système après une réparation minimale

II.2.3. Réparation imparfaite :

Dans cette maintenance on essaye de faire un compromis entre les deux maintenances citées ci-dessous (« As good as new » et « As bad as old »).Dans ce cas on parle d'une maintenance qui est meilleure que vieux « Better than old » et moins bonne que neuf « Worst than new ». La figure qui suit, nous montre l'effet de la maintenance imparfaite sur la fiabilité d'un système. **[3]**

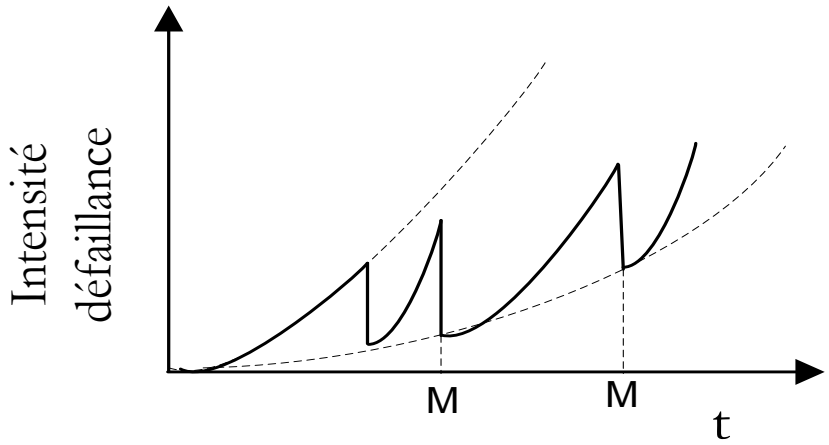


Figure II.3 : L'état du système après une réparation imparfaite

II.2.4. Réparation mauvaise :

C'est une maintenance qui remet le système défiant dans un état plus mauvais que ce lui juste avant la défaillance. D'une manière générale la maintenance effectuer dégrade le système. La figure qui suit, nous montre l'effet de la maintenance imparfaite sur la fiabilité d'un système. **[3]**

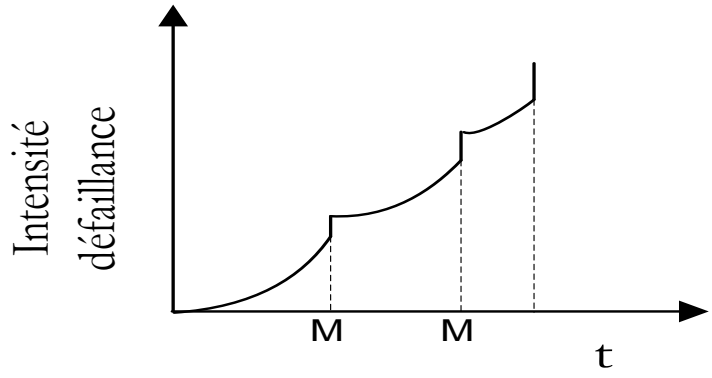


Figure II.4 : L'état du système après une réparation mauvaise

II.3. Formes de remplacement préventif :

Selon les technologies concernées et les domaines du travail : production, entrepôts, transport, le remplacement préventif s'exerce de différents façon. Les trois formes les plus courantes sont :

II.3.1. Remplacement selon l'âge :

Un nouvel élément est mis en service à $t = 0$, sa durée de vie est une fonction de répartition $F(t)$. L'élément est remplacé quand il atteint l'âge T, ou à sa défaillance, selon l'événement qui se produit en premier. **[4]**

Cette politique peut être représentée par le schéma suivant :

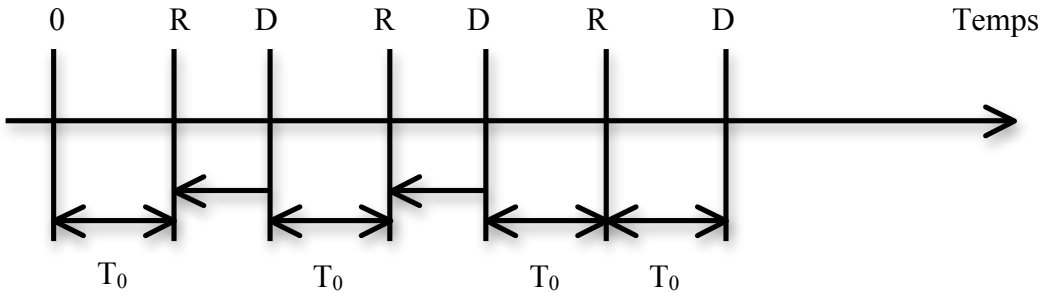


Figure II.5 : Remplacement selon l'âge

II.3.2. Remplacement périodique :

Sous cette politique, l'élément est remplacé préventivement à des intervalles de temps fixes *k T (k = 1, 2, 3, ...)* indépendamment de l'historique des pannes, ou remplacé à la défaillance. **[5]**

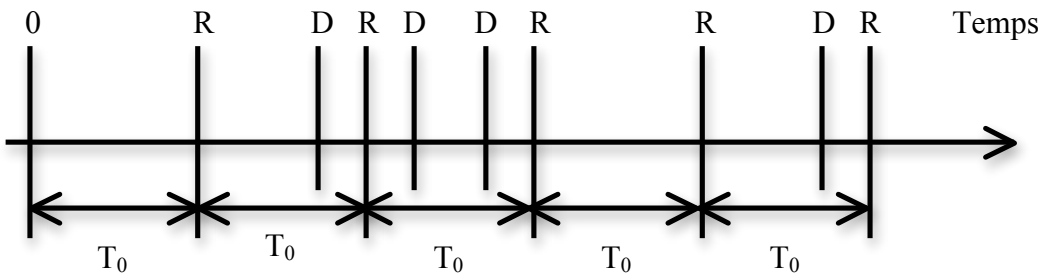


Figure II.6 : Renouvellement périodique

II.4. Regroupements des activités de la maintenance :

Le but est de regrouper des opérations de maintenance à une même date (ou bien à des intervalles de temps qui se coïncides) pour améliorer la disponibilité du système et réduire le coût de maintenance. **[6]**

II.4.1. Regroupements stationnaires :

Les politiques de regroupements stationnaires sont subdivisées en trois catégories : le regroupement de maintenance corrective, le regroupement de maintenance préventive et les politiques opportunistes.

II.4.1.1. Regroupement de la maintenance corrective :

Dans le regroupement de maintenance corrective, les systèmes présentent une certaine forme de redondance des composants .les composants défaillants peuvent être laissés en état de défaillance jusqu'à ce que le système se dégrade d'une manière significative. Une maintenance corrective est alors appliquée sur tous les composants trouvés défaillants afin de rétablir le système dans son état initial.

II.4.1.2. Regroupement de la maintenance préventive :

La deuxième catégorie de politiques est le regroupement de maintenance préventive .ces regroupements sont planifiés sur un horizon donné .Cette catégorie distingue les modèles pour les systèmes dont les composants forment un seul regroupement ,c'est-à-dire, tous les composants du système sont remplacés simultanément (remplacement de type bloc)et les modèles pour les systèmes dont les composants peuvent former plusieurs regroupements, pour ces derniers modèles, la structure optimale des regroupements doit être déterminée.

II.4.1.3. Regroupement de la maintenance opportune :

Les politiques opportunistes découlent directement de la dépendance économique entre les différents composants d'un système. Le principe de base est de profiter des arrêts planifiés ou fortuits de certains composants du système pour effectuer la maintenance préventive sur d'autre composants. Ces politiques sont particulièrement valables dans le cas des systèmes en séries où la défaillance de n'importe quel composant entraîne l'arrêt du système au complet, offrant ainsi, l'occasion d'effectuer simultanément la maintenance de un autre composant en même temps que la réparation du composant défaillant. **[7]**

II.4.2. Les regroupements dynamiques :

Les politiques de regroupements dynamiques sont des politiques non stationnaires. Elles permettent de prendre en compte l'information sur la maintenance effectuée et /ou sur l'état de dégradation du système relevé au cours des inspections (information considérée a court terme).

II.5. Organisation des opérations de maintenance :

Les méthodes de maintenance sont mises en œuvre en fonction des objectifs assignés à un équipement et en répondant aux questions suivantes :

- ✓ Quelles sont les installations à suivre ?
- ✓ Quels sont les défauts à détecter et à suivre ?
- ✓ Quels sont les paramètres qui sont liés à chaque défaut ?
- ✓ Comment se feront les analyses et quelles seront les décisions prises ?

À chaque question existent, bien sûr, plusieurs réponses et l'application des méthodes de maintenance efficace est particulièrement complexe dans sa phase d'élaboration.

II.5.1. Choix des équipements :

Tous les équipements d'une installation industrielle ne font pas, généralement, l'objet d'un suivi dans un système de gestion maintenance. Seul les matériels critiques nécessitent que leurs comportements soient surveillés, ces matériels répondent au moins à un des critères suivants :

- ✓ Matériel critique pour la sécurité de l'installation et du personnel ;
- ✓ Matériel responsable de pertes de production, pour la disponibilité de l'installation ;
- ✓ Matériel à fort coût de maintenance.

C'est là précisément qu'intervient l'analyse ABC, appelée aussi analyse de Pareto. Cette méthode consiste à classer les pannes par ordre croissant des temps d'immobilisation (critères), c'est-à-dire en allant de la panne qui provoque un temps d'arrêt grand jusqu'à la panne qui provoque le plus temps d'arrêt, puis établir un graphique faisant correspondre les pourcentages des temps d'immobilisation cumulés aux pourcentages du nombre de pannes cumulée. On distingue trois zones sur le graphe.

- ✓ Zone A : elle correspond aux matériels qui, avec un pourcentage pas très élevé de pannes causent la majorité des temps d'immobilisation (critères) ;
- ✓ Zone B : correspond aux matériels qui, avec un pourcentage de pannes généralement moyen causent la majorité du temps d'immobilisation restant ;

- ✓ Zone C : elle correspond aux matériels qui, avec un pourcentage assez élevé de pannes causent un temps d'immobilisation minime.

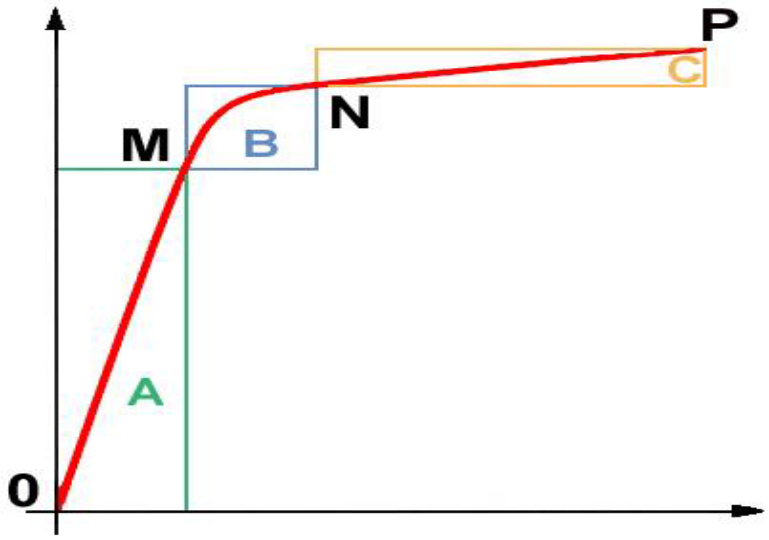


Figure II.7 : Courbe de Pareto (ABC)

II.5.2. Choix d'une politique de maintenance :

Le choix du type de maintenance devra toujours résulter d'un compromis financier et technique qui est l'objectif une analyse de fiabilité et coûts. La figure suivante présente les différentes formes décisionnelles dues au choix d'une politique de maintenance.

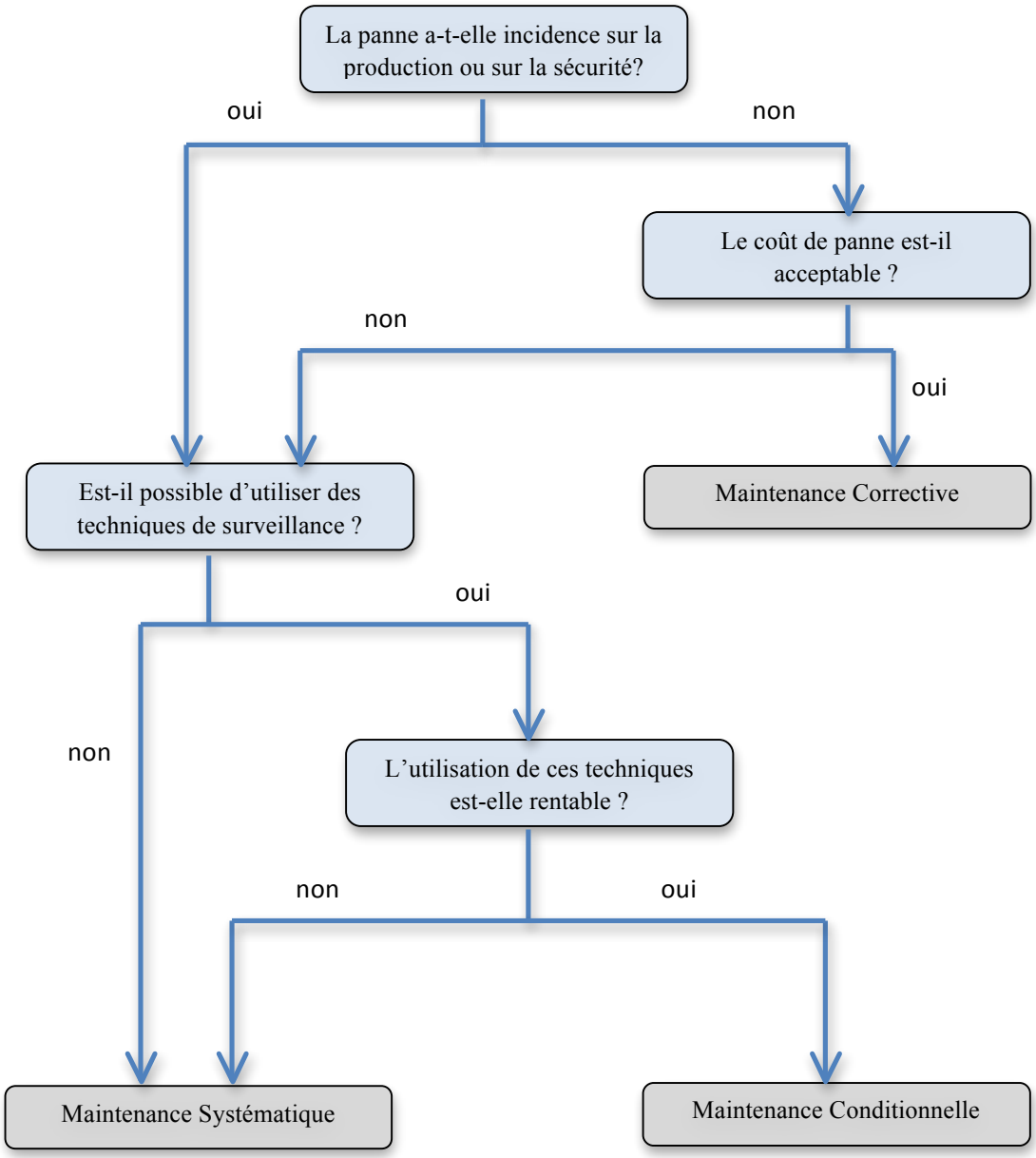


Figure II.8 : Arbre de décision pour le choix d'une politique maintenance

II.6. Orientation des politiques de la maintenance :

Les décisions d'appliquer une fonction maintenance reposent sur trois critères, qui déterminent trois grandes orientations des politiques de maintenance.

Les trois notions sont :

- ✓ Le Coût.
- ✓ La Disponibilité.
- ✓ La Fiabilité et la maintenabilité.

Les différentes stratégies existantes s'articulent autour des points ci-après :

II.6.1. La Maintenance Productive Totale (TPM) :

La TPM a été implantée pour la première fois au japon en 1971. La philosophie du concept TPM c'est la recherche de la productivité maximale du système industriel, de l'utilisation maximale du potentiel productif. C'est à ce titre que l'on parle de recherche de zéro panne. La démarche TPM est une démarche qui s'articule autour de deux phases. La première est une phase d'analyse qui a principalement comme but l'amélioration du rendement global de l'appareil de production, la deuxième phase est basée sur le concept d'auto maintenance c'est à dire de la participation du personnel de production par sa responsabilisation dans le fonctionnement de son équipement. **[8]**

La TPM signifie :

- ✓ **Productive :** essayer d'assurer le tout en produisant ou en pénalisant le moins possible la production ;
- ✓ **Maintenance :** maintenir en bon état des équipements (réparation, nettoyage, lubrification, examen interne) ;
- ✓ **Totale :** considérer tous les aspects pour associer tout le monde (le rendement global des installations, un système global de réalisation, une participation de tout le personnel).

TPM a pour objectifs :

- ✓ D'atteindre le zéro panne ;
- ✓ D'optimiser les coûts d'exploitation des équipements durant leur durées de vie ;
- ✓ Mobiliser le personnel de production autour de la qualité ;
- ✓ Maximiser le temps net de production ;
- ✓ Les opérateurs sont chargés des tâches de maintenance de leur machine ;
- ✓ Les services maintenance interviennent comme spécialiste pour les tâches les plus complexes.

II.6.2. La maintenance basée sur le « Life Cycle Cost (LCC) » :

La grandeur Life Cycle Cost -en français dit : coût du cycle de vie désigne la somme des coûts d'investissement de l'équipement, des coûts cumulés d'utilisation et des coûts de maintenance, sur la durée de vie de l'équipement. **[8]**

La difficulté majeure de cette approche est l'estimation des différents coûts intervenant durant le cycle de vie d'un équipement.

II.6.3. La maintenance Basée sur la Fiabilité (MBF) » :

Cette stratégie s'établit sur l'amélioration de la fiabilité qui se définit comme étant l'aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, durant un intervalle de temps donné, et la maintenabilité qui signifie l'aptitude d'un bien, dans des conditions données d'utilisation, à être maintenu ou rétabli dans un état ou il peut accomplir une fonction requise. **[8]**

II.7. Politiques de maintenance :

La politique de maintenance est une stratégie qui consiste à définir des objectifs technico- économique relatifs à la prise en charge du matériel d'une entreprise, par le service maintenance.

La politique implique la prise de décision sous forme de compromis entre les trois pôles, technique, économique et humain.

Le coût total entraîné par la maintenance d'un équipement (coût direct et coût d'indispensabilité) intervient dans le choix préférentiel d'une politique de maintenance. Une maintenance efficace permet de réduire fortement la fréquence des défaillances ainsi que leurs conséquences.

Des milliers de modèles de maintenance ont été développés. Ils peuvent être classés dans un nombre limité de politiques. A savoir la politique multi et mono composant. **[9]**

II.7.1. Politique de maintenance dépendant de l'âge :

Sous ce type de politique, un composant est préventivement maintenu à un certain âge prédéterminé T, ou à sa défaillance, tout dépend de l'événement qui se produit en premier. **[9]**

- **Modèle de coût :**

Le modèle de coût correspondant à cette politique est le suivant:

$$C(T) = \frac{CpR(T)+[1-R(T)]Cd}{\int_0^T R(t)dt} \quad \textbf{(2.1)}$$

Telle que :

R (t)= 1-F(t) est la fonction de fiabilité.

II.7.2. Politique de maintenance préventive périodique :

Dans ce type de politique on trouve :

- **« politique de remplacement en bloc » :**

Sous ce type de politique, un composant est maintenu préventivement à des temps pré-arrangés *K*T* (*K=1,2,...*), et à la défaillance. Où *T* est la période.

Cette politique est souvent utilisée pour les systèmes multi composants.

- **Modèle de coût :**

$$C(T) = \frac{CdH(T)+Cp}{T} \quad \textbf{(2.2)}$$

Où *H(t)* représente le nombre moyen de remplacement de 0 à *T*. **[4]**

$$H(T) = \int_0^T \lambda(t)dt \quad \textbf{(2.3)}$$

- **« politique de remplacement périodique avec réparation minimale à la défaillance » :**

Sous cette politique, le composant est remplacé préventivement à des temps prédéterminés *K*T*(*K=1,2…,*), et les défaillances sont corrigées par des réparations minimales.

- **Modèle de coût :**

Le modèle correspondant à la politique de remplacement périodique avec réparation minimale à la défaillance est donné par l'expression suivante : **[4]**

$$C(t) = \frac{Cd\int_0^T \lambda(t)dt+Cp}{T} \quad \textbf{(2.4)}$$

II.7.3. Politique de la limite de défaillance :

Cette politique consiste à effectuer une maintenance préventive que lorsque le taux de défaillance ou autres indices de fiabilité atteint un niveau prédéterminé et les défaillances sont corrigées par des réparations. **[9]**

II.7.4. Politique de maintenance préventive séquentielle :

Sous cette politique, un composant est préventivement maintenue à des intervalles de temps inégaux, ces derniers deviennent de plus en plus courts en considérant qu'avec le temps, la majore partie des composants nécessitent des maintenances plus fréquentes avec l'âge. **[9]**

II.7.5. Politique de la limite de réparation :

Cette politique est connue sous le nom de « la limite du coût de réparation ». Sous cette politique, le coût de réparation est estimé. Si ce coût est inférieur à une limite prédéterminée la réparation de cette unité est effectuée, sinon l'unité est remplacée. **[9]**

II.7.6. Politique de nombre de réparation et du temps de référence :

Sous cette politique, l'unité est réparée d'une façon minimale avant un temps T et est remplacée à la première défaillance après T. on appel T le temps de référence. Morimura et Makabe ont introduit une politique de nombre de réparation qui consiste à remplacer préventivement une unité à la $k^{iéme}$ défaillances et les (k-1) premières défaillances sont corrigées par une réparation minimale. **[9]**

II.8. Les coûts de maintenance :

Si le but de la maintenance est de préserver en bon état de fonctionnement un équipement ou une installation de production, ceci ne doit pas être à n'importe quel cout afin d'assurer la rentabilité économique.

L'évolution économique de la maintenance est de répertorier et d'estimer tout les couts qu'elle comporte.

A cet effet, il faut faire la distinction des couts directs et les couts indirects (couts de défaillances).

II.8.1. Couts directs de la maintenance :

Ce sont les couts qui conditionnent l'activité même de maintenance, ils sont quantifiables.

- ✓ Cout de main d'œuvre ;
- ✓ Cout de formation du personnel ;
- ✓ Cout de consommables et de pièces de rechange ;
- ✓ Cout d'équipements ;
- ✓ Cout de cotraitance.

II.8.2. Couts indirects de la maintenance :

L'analyse complète de ces couts avec précision est pratiquement impossible á faire car la plupart d'entre-deux ne sont pas quantifiables.

- ✓ Perte de production ;
- ✓ Diminution de la qualité ;
- ✓ Cout d'amortissement ;
- ✓ Pénalités de retard.

Conclusion

Dans ce chapitre, on a exposé les différentes politiques de maintenance avec les avantages et les inconvénients de chaque politique. Ensuite, on a présenté les formes de remplacement préventif et les outils d'organisation de la fonction de maintenance. On a vu que seuls les matériels critiques font l'objet d'un suivi dans un système de gestion maintenance, et que le choix d'une politique de maintenance devra toujours résulter d'un compromis financier et technique.

III

THEORIE DE LA FIABILITE

Introduction

La fiabilité fait l'objet ces dernières années d'un intérêt croissant, d'abord pour ses applications importantes en technologie industrielle, en analyse de service. D'autres parts, elle connaît un développement théorique conséquent, en raison de son intérêt dans des problèmes de modélisation stochastique. **[11]**

III.1. Définition :

III.1.1. La fiabilité :

Selon AFNOR (Association Française de Normalisation) X60-500, la fiabilité est définie comme étant « l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise pendant un intervalle de temps donné, dans des conditions données ». **[1]**

La fiabilité est une caractéristique d'un dispositif exprimée par la probabilité qu'il accomplit une fonction dans des conditions données pendant un temps donné. Elle se caractérise donc par quatre concepts :

- ✓ **La probabilité :** une probabilité se définie par le rapport entre le nombre de cas favorables et le nombre de cas possibles concernant la réalisation d'un événement. Dans le cas de la fiabilité, la probabilité exprimant les chances d'accomplir une fonction.
- ✓ **L'accomplissement d'une fonction :** le dispositif que l'on étudie du point de vue de la fiabilité devra être dans un état tel qu'il lui permet d'accomplir la fonction requise d'une manière satisfaisante.
- ✓ **Les conditions données :** les conditions sont les contraintes physiques, chimiques, électriques et mécaniques subies par le dispositif du fait de son environnement.
- ✓ **Le temps :** c'est le temps exprimé au sens large. Ce sera bien souvent, un nombre de cycles ou caractéristique qui expriment la durée de vie.

La notion de fiabilité se distingue selon l'étape étudiée de la vie du système par :

III.1.1.1. La fiabilité prévisionnelle :

C'est celle qui est déterminée durant la phase de conception sur la base d'un modèle mathématique, définie à partir des données de fiabilité de ces composants.

III.1.1.2. La fiabilité estimée :

C'est la fiabilité mesurée après avoir conçu le système et ceci à l'aide d'un ensemble d'essais.

III.1.1.3. La fiabilité opérationnelle :

C'est la fiabilité mesurée sur un matériel en exploitation. Elle dépend des conditions réelles d'exploitation et du support logistique.

III.1.2. Panne :

C'est «l'état d'une entité inapte à accomplir une fonction requise, dans des conditions données d'utilisations ». **[1]**

Ainsi, la panne est l'état dans lequel se trouve le système consécutivement à une défaillance.

Lors de la remise en service, l'entité peut à nouveau accomplir sa fonction.

III.1.3. Défaillance :

C'est « la cessation de l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise, qui passe dans l'état de panne » **[1]**. Donc, c'est une perte partielle ou totale des propriétés d'un élément qui diminue significativement ou bien entraine la perte totale de sa capacité de fonctionnement.

On distingue selon la vitesse de ses propriétés deux types de défaillances :

III.1.3.1. Les défaillances graduelles :

Elles se caractérisent par une variation progressive des paramètres déterminant la fiabilité du système. Ce type de défaillance est prépondérant pour le matériel mécanique, pour lequel se manifeste l'usure des composants après une certaine durée de fonctionnement.

III.1.3.2. Les défaillances subites :

Contrairement aux défaillances graduelles, les défaillances subites sont dues à une perte totale des propriétés du système entraînant son incapacité de fonctionnement. Ce type de défaillance caractérise spécialement le matériel électrique.

On peut aussi classer les défaillances selon la période de vie de l'équipement durant laquelle elles apparaissent. On distingue trois classes :

- ✓ **Les défaillances précoces :** Elles surviennent durant la période de jeunesse du matériel, c'est-à-dire, juste après sa mise en fonctionnement. Ces défaillances peuvent être attribuées à la conception, à la fabrication ou à la mauvaise utilisation du matériel. Généralement, un contrôle rigoureux est effectué avant la mise en service pour détecter les éléments présentant ce type de défaillance.
- ✓ **Les défaillances aléatoires :** Elles apparaissent durant la période de vie utile du matériel. Ce sont des défaillances accidentelles. Elles ont la même probabilité d'apparition.
- ✓ **Les défaillances par usure :** Ceux sont des pannes progressives et elles apparaissent suite à la fatigue, l'usure est la dégradation du matériel après une longue période de fonctionnement.

III.1.4. La durée de vie :

On appelle durée de vie d'un élément le temps qui s'écoule entre la mise en service et la défaillance. **[2]**

III.1.5. La durée de survie :

Lorsqu'un élément a bien fonctionné jusqu'à la date t, le temps d'attente de la panne est appelé durée de survie de l'élément à l'instant t ou bien durée de vie résiduelle. **[2]**

III.1.6. Matériel réparable

C'est in matériel qui peut être remis en fonctionnement après avoir subi une défaillance.

La vie d'un tel matériel peut être décrite à l'aide de chronogramme suivant :

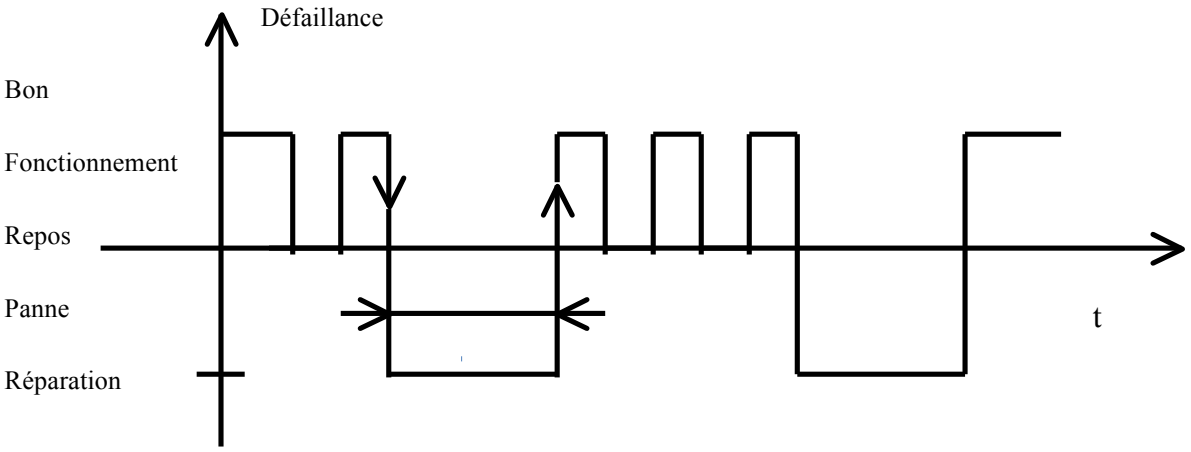


Figure III.1 : Chronogramme d'un matériel réparable

III.1.7. Matériel irréparable :

C'est un matériel qui ne peut être remis en fonctionnement que soit pour des raisons technique ou économiques. La figure suivante représente la vie d'un matériel irréparable.

Avec : MTTF est la moyenne des temps jusqu'à la panne (Mean Time To Failure)

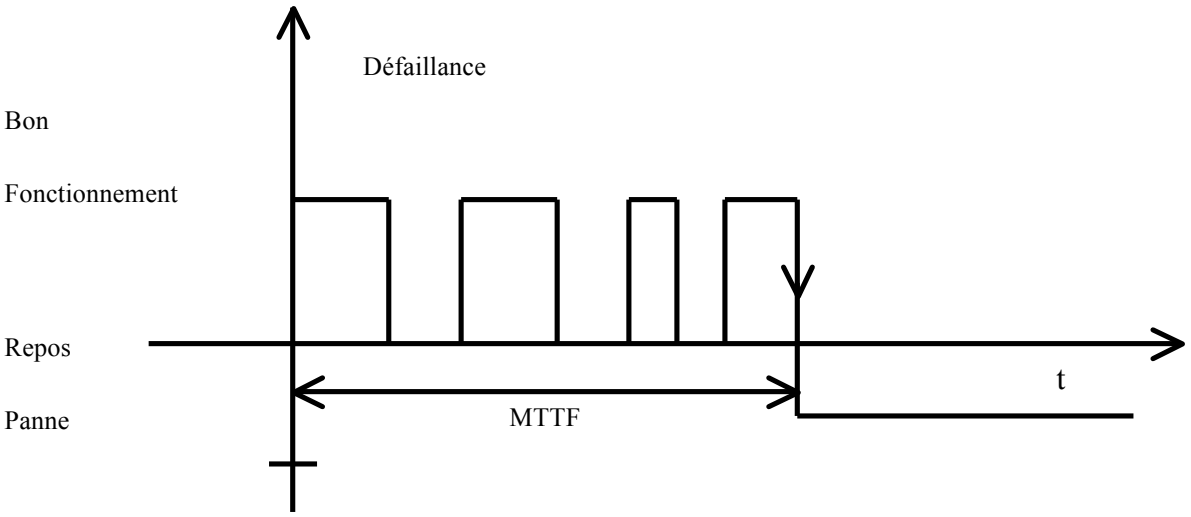


Figure III.2 : Chronogramme d'un matériel irréparable

III.2. Indices de fiabilité :

Afin de pouvoir traiter mathématiquement le concept de fiabilité, nous associons à chaque dispositif sa durée de vie ou de bon fonctionnement. Le fait que la défaillance d'un système puisse survenir à n'importe quel moment nous amène à considérer celle-ci comme une variable aléatoire X non négative à laquelle nous pouvons associer une fonction de densité $f(t)$.

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} \qquad \textbf{(III.1)}$$

III.2.8. Fonction de répartition et de fiabilité :

Nous désignons par F(t), la fonction de répartition ou la fonction de distribution associée aux durées de vie X. Elle peut s'interpréter comme la probabilité que la durée de vie du composant soit inférieure à t.

$$R(t) = 1 - F(t) = P(T > t) \qquad \textbf{(III.2)}$$

Ou R(t) est la fonction de fiabilité (ou de service), elle représente la probabilité de fonctionnement sans défaillance pendant la période [0, t].

III.2.9. 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 panne, taux de hasard ou taux de mortalité. Il est défini comme étant la probabilité conditionnelle que l'équipement tombe en panne entre l'instant [*t, t+dt*] sachant qu'il a survécu jusqu'à l'instant t. Il est donné par :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1-F(t)} = \frac{f(t)}{R(t)} \qquad \textbf{(III.3)}$$

La connaissance de $\lambda(t)$ permet de connaître *R(t)* ou *F(t)*.En effet :

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(n)dn} \qquad \textbf{(III.4)}$$

$\lambda(t)$peut être également appelé « fonction de hasard » est noté *h(t)* tel que

$$h(t) = -\frac{d}{dt} log R(t) \qquad \textbf{(III.5)}$$

h(t) : probabilité (conditionnelle) d'une défaillance entre *t* et *t* + *dt* sachant que le dispositif est en vie à l'instant *t*. On peut également définir la fonction de hasard cumulée *H(t)* :

$$H(u) = \int_0^t h(t)du \qquad \textbf{(III.6)}$$

L'observation expérimentale montre que l'évolution du taux de défaillance en fonction du temps est en général représentée par la « courbe en baignoire ». Elle modélise les trois phases de la vie d'un élément :

- ✓ **Période de jeunesse :** quand un système est neuf, on observe souvent des défaillances précoces, dues à des fautes de conception, des problèmes de montage ou autre. L'intensité de défaillance est donc assez forte au tout début de la vie du système. Ensuite, elle diminue car, s'il y a des défauts initiaux, ils vont se manifester tôt. $\lambda(t)$ est donc d'abord décroissant. C'est le rodage pour matériels mécanique et le déverminage pour les matériels électromécanique ;
- ✓ **Période de maturité :** caractérisée par un taux de défaillance *λ(t)* sensiblement constant en fonction du temps *t*.
- ✓ **Période de vieillesse :** pendant cette période *λ(t)* se met à croître à cause de l'usure du système

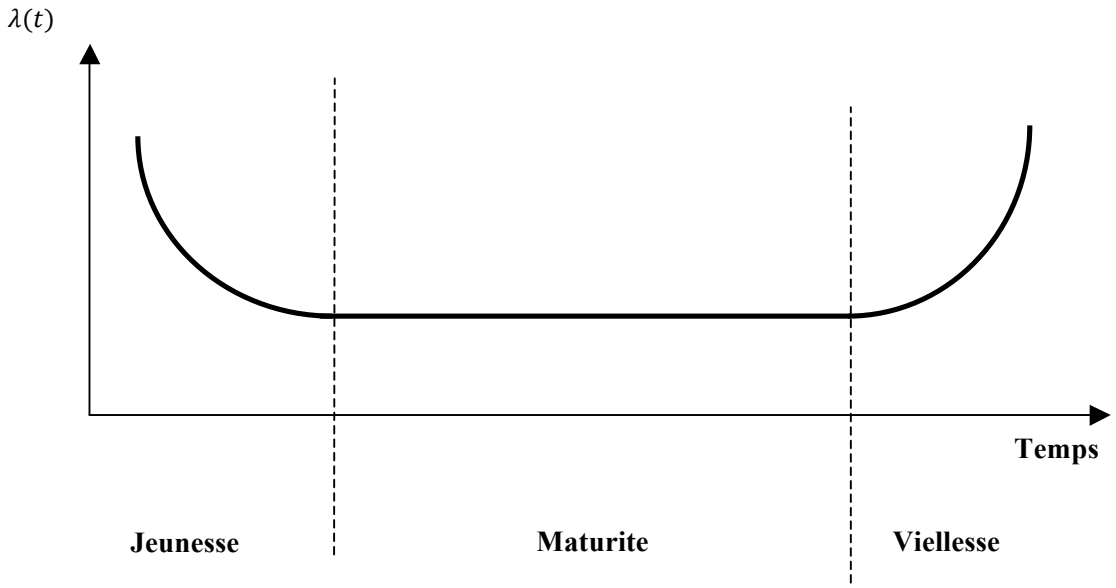


Figure III.3 : Courbe baignoire

III.2.10. Fiabilité des systèmes :

Un système complexe est tout assemblage d'éléments ou de systèmes en interaction. Ces derniers sont appelés composants du système.
Ils peuvent être indépendants (la défaillance d'un élément n'entraine pas la défaillance du système) ou dépendants.

La fiabilité d'un système complexe est déterminée en fonction de la fiabilité de tous ses éléments **[6]**. Selon l'indice de la défaillance d'un de ses composants sur l'état du système, on distingue deux configurations possibles :

III.2.10.1. Systèmes à configuration série :

Un système à n éléments possède une configuration série si la panne d'un élément entraine celle du système tout entier.

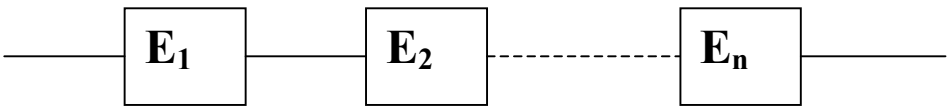


Figure III.4 : Diagramme de fiabilité (configuration en série)

La fiabilité du système est alors :

$$R(t) = \prod_{i=1}^{n} R_i(t) \qquad \textbf{(III.7)}$$

III.2.10.2. Système à configuration parallèle :

Un système parallèle fonctionne si ou moins l'un des ces éléments fonctions.

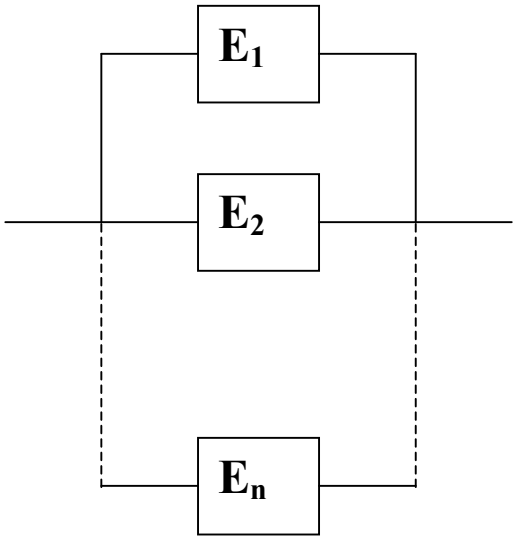


Figure III.5 : Diagramme de fiabilité (configuration en parallèle)

Donc sa fiabilité est donnée par :

$$R(t) = 1 - \prod_{i=1}^{n}\left(1 - R_i(t)\right) \qquad \textbf{(III.8)}$$

La fiabilité d'un matériel configuré en parallèle est supérieure à la fiabilité du composant le plus fiable. Cette propriété est exploitée pour l'amélioration de la fiabilité des systèmes par les redondances. La redondance est l'une des méthodes principales pour augmenter la fiabilité du système. Elle consiste à la mise en parallèle d'éléments ayant la même fonction. On distingue trois catégories de redondances : la redondance active, la redondance passive (en stand-by) et la redondance majoritaire.

- ✓ La redondance active : est réalisée par la mise en parallèle d'élément assurant les mêmes fonctions et travaillant en même temps ;
- ✓ La redondance passive : est obtenue lorsqu'un élément (ou un groupe d'éléments) fonctionne, les autres éléments (ou groupe d'éléments) n'interviennent qu'en cas de défaillance du précèdent.
- ✓ La redondance majoritaire : est réalisée lorsque la défaillance du système a lieu si K éléments parmi N sont défaillants.

III.3. Eléments statistiques en fiabilité :

La mise en pratique d'une politique de maintenance nécessite une parfaite connaissance du comportement du matériel. Ceci est obtenu par la détermination des lois de survie (loi de fiabilité) des équipements les plus réalistes possibles. Pour cela, il faut construire des échantillons de données en se basant sur l'analyse du retour d'expérience.

III.3.11. Les données du retour d'expérience :

Le retour d'expérience vise une meilleure connaissance du comportement d'un équipement de production et ses déférents composants, de leurs modes de dégradation, de dysfonctionnement ou d'endommagement. Les données du retour d'expérience offrent l'intérêt de permettre une modélisation du comportement de ces systèmes la plus proche de la réalité.

III.3.12. Principales distributions utilisées dans le domaine de la fiabilité :

Les lois les plus couramment utilisées en fiabilité sont : la loi exponentielle, la loi normale, la loi de Weibull et la loi de Gamma.

III.3.12.1. Loi exponentielle :

Cette loi est fréquemment utilisée en fiabilité que ce soit sur le plan théorique ou pratique. En pratique, elle est utilisée pour modéliser les défaillances d'in matériel électronique et pour modéliser la période de vie utile des matériels pendant laquelle le taux de défaillances est constant, et les défaillances surviennent d'une manière aléatoire.

Les caractéristiques d'une variable aléatoire T distribuée suivant une loi exponentielle sont :

- ✓ Fonction de répartition :

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\lambda t} t \geq 0 \qquad \textbf{(III.9)}$$

- ✓ Densité de probabilité :

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} t \geq 0 \qquad \textbf{(III.10)}$$

III.3.12.2. Loi de Weibull :

Elle correspond à l'hypothèse d'un taux instantané de défaillance, qui est une fonction puissance du temps. Elle prend une place de plus en plus importante dans le domaine mécanique. D'un emploi très souple, ainsi elle couvre un grand nombre de distributions et permet notamment de modéliser alternativement les trois phases de la vie d'un dispositif.

- ✓ Fonction de fiabilité :

$$R(t) = e^{\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)\right]} \forall t \geq \gamma \qquad \textbf{(III.11)}$$

- ✓ Densité de probabilité :

$$f(t) = \left(\frac{\beta}{\eta}\right)\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} * exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}\right] \forall t \geq \gamma \qquad \textbf{(III.12)}$$

- ✓ Taux instantané de défaillance :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta}\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \qquad \textbf{(III.13)}$$

β, η et γ sont les paramètres de la loi Weibull.

β est le paramètre de forme. Il est le plus important car il joue sur la variation du taux de défaillance, il permet ainsi de modéliser alternativement les trois phases de la courbe en baignoire.

- ✓ Si $\beta < 1$, le taux de défaillance décroît avec le temps, ce qui représente la période de jeunesse des matériels dans la courbe en baignoire ;
- ✓ Si $\beta = 1$, le taux de défaillance constant avec le temps, ceci correspond à la période de vie utile, on retrouve la loi exponentielle ;

- ✓ Si $\beta > 1$, le taux de défaillance croît avec le temps, ce qui correspond alors à la période de vieillesse ou de l'usure.

η est un simple paramètre d'échelle de temps appelé aussi durée de vie caractéristique. Lorsque $t-\gamma = \eta$, alors $F(t) = 63\%$

γ est le paramètre de localisation. Il est dans la même unité que le temps, très souvent on choisit $\gamma = 0$ et la loi Weibull est ramenée à deux paramètres.

Conclusion

Au cours de ce chapitre, on a défini la fiabilité et la défaillance d'un système. En effet, il est important de connaître les grandeurs de fiabilité et les mécanismes de défaillances pour permettre l'implantation d'un système de maintenance efficace (rentable), ainsi que les principales distributions utilisées dans le domaine de la fiabilité.

IV

ANALYSE DE LA FIABILITE DES EQUIPEMENTS

Introduction

Dans le but d'assurer une bonne maîtrise d'un parc machines, il y a lieu de déterminer un ordre de priorité d'actions de maintenance orientées sur les équipements les plus pénalisants.

D'après le service méthodes de l'entreprise, plus de 50% des pertes enregistrées soit en matière première ou produit fini se localise à l'atelier (1) de la zone de conditionnement. La ligne de production ligne1 est l'une des conditionneuses de cet atelier qui présente une des préoccupations majeures du département maintenance, à cause de son importance en terme de nécessité et de la quantité importante du produit à fabriquer (huile Elio 1L), ainsi qu'aux temps d'immobilisation importants enregistrés par rapport aux autres lignes (91 heures d'arrêt pour le premier trimestre de l'année 2013).

IV.1. Collecte des données

Le retour d'expérience vise une meilleure connaissance du comportement d'un équipement de production et ses différents composants, de leurs modes de dégradation, de dysfonctionnement ou d'endommagement. L'analyse de fiabilité en exploitation consiste à recueillir des données de défaillance et à les exploiter de manière statistique afin de connaître les indices de fiabilité.

La présente étude est basée sur les données qui s'étalent sur la période du premier trimestre de l'année 2013. Toutes les pannes sont enregistrées dans des fiches techniques au niveau de toutes les lignes de production ou l'opérateur indique l'instant de la panne et la période de réparation dans les fiches suivis de la production journalière. L'entreprise se base sur la politique du VERT (pour le bon fonctionnement) et ROUGE (pour l'immobilisation de la ligne), le service maintenance a attribué des codes pour chaque catégorie de panne (qualité, technique, défaut,…) et ceci s'effectue pour chaque heure du temps disponible de production. Dans notre étude, on s'intéresse aux pannes techniques de la ligne (1).

IV.2. Choix des équipements critiques

La ligne 1 se compose de neuf équipements, l'étude de remplacement de toutes les pièces des différents blocs se révélera très longue, c'est pourquoi alors une analyse ABC (Pareto) pourra déterminer la partie critique de la conditionneuse.

Tableau IV.1 : Résultat de l'analyse ABC

Equipement	Temps d'arrêts (mn)	% Temps d'arrêts	% Cumul des temps
Souffleuse	3268	59,65	59,65
Remplisseuse	1162	21,21	80,86
Palettiseur	451	8,23	89,09
Fardeleuse	189	3,45	92,54
Banderolage	155	2,83	95,37
Dateur	115	2,09	97,46
Etiqueteuse	70	1,28	98,74
Diviseur	59	1,08	99,82
Convoyeur à air	10	0,18	100

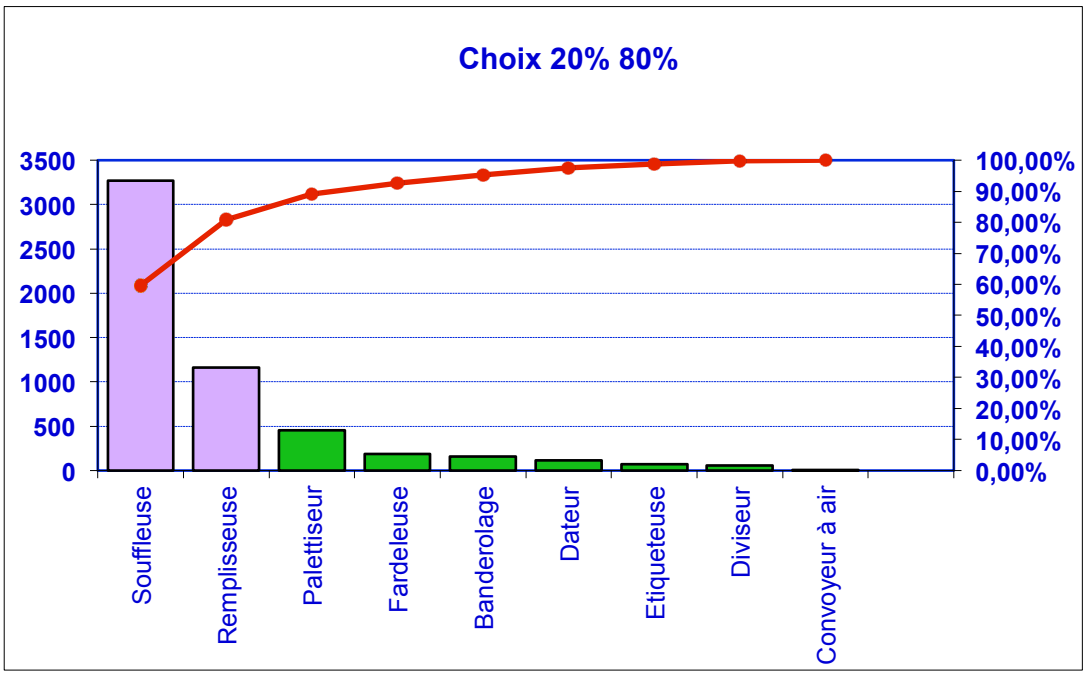


Figure IV.1 : Courbe ABC des équipements de la ligne ERCA2.

A partir des résultats du tableau et de la courbe de Pareto, on propose que la zone A est celle qui correspond aux équipements qui causent plus de 80% des temps d'immobilisation cumulés. Autrement dit, plus de trois quarts du temps d'immobilisation est engendré par moins d'un tiers des équipements. Ces équipements doivent donc faire l'objet d'un traitement particulier. Ces équipements sont : la souffleuse et la remplisseuse.

IV.3. Estimation des paramètres de Weibull

Les méthodes d'estimation des paramètres les plus utilisées sont la méthode de maximum de vraisemblance (MLE) et la méthode des moments. Mais la méthode de (MLE) est la plus utilisée en raison de ces propriétés intéressantes. Analytiquement, la résolution de ce type de méthode est très délicate, on utilise donc l'approche numérique, en utilisant la fonction Wblfit de Matlab.

Wblfit est une fonction de Matlab, qui permet d'estimer les paramètres β, η de la loi de Weibull par la méthode du maximum de vraisemblance.

Tableau IV.2: résultat d'analyse des paramètres de Weibull par wblfit

Equipement	**Paramètre du Weibull**
Souffleuse	$\beta = 1{,}7541, \eta = 854{,}8775$
Remplisseuse	$\beta = 1{,}72, \eta = 380{,}1323$

IV.3.1. Evaluation des fonctions de fiabilité

❖ **Souffleuse :**

$$R_{souf}(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{854,88}\right)^{1,75}\right] \quad \textbf{(IV.1)}$$

$$\lambda_{souf}(t) = 2,05.10^{-3}\left(\frac{t}{854,88}\right)^{0,75} \quad \textbf{(IV.2)}$$

$$f_{souf}(t) = 2,05.10^{-3}\left(\frac{t}{854,88}\right)^{0,75} \exp\left[-\left(\frac{t}{854,88}\right)^{1,75}\right] \quad \textbf{(IV.3)}$$

❖ **Remplisseuse :**

$$R_{remp}(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{380,13}\right)^{1,72}\right] \quad \textbf{(IV.4)}$$

$$\lambda_{remp}(t) = 4,50.10^{-3}\left(\frac{t}{380,13}\right)^{0,72} \quad \textbf{(IV.5)}$$

$$f_{remp}(t) = 4,50.10^{-3}\left(\frac{t}{380,13}\right)^{0,72} \exp\left[-\left(\frac{t}{380,13}\right)^{1,72}\right] \quad \textbf{(IV.6)}$$

Une représentation graphique de la fonction de densité de fiabilité, et de la fonction de fiabilité des équipements nous permet une meilleure interprétation de leurs évolutions dans le temps.

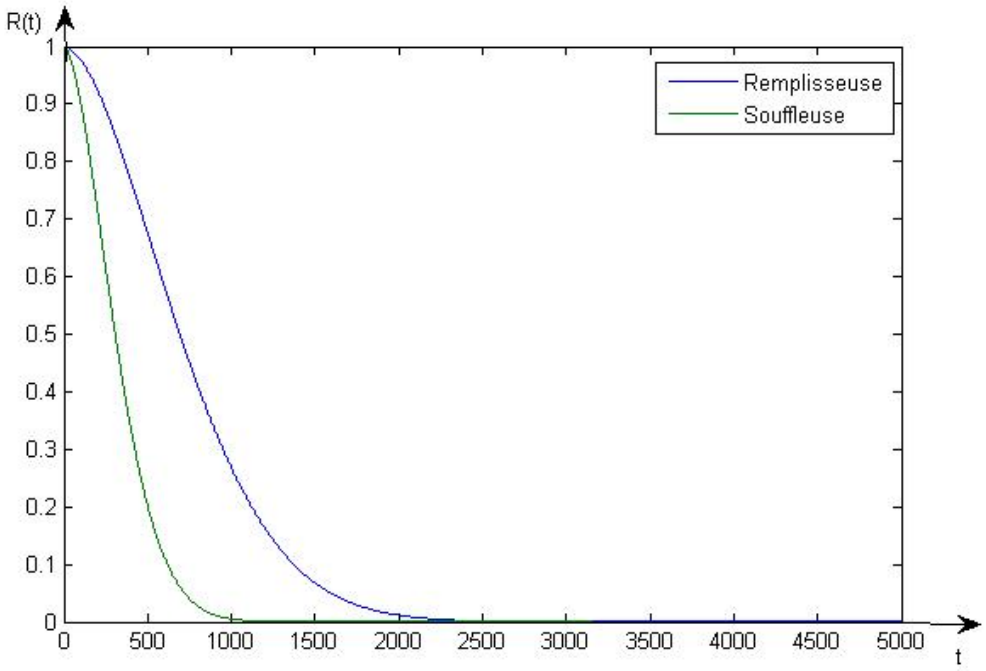


Figure IV.2 : courbe de fiabilité du modèle de Weibull

Cette figure est obtenue à l'aide de la fonction Matlab :

plot (t , 1-wblcdf (t , η , β) , t , 1-wblcdf (t , η , β))

Interprétation

On constate que pour toute valeur de t, la fiabilité R_{remp} est supérieure à R_{souf}. On déduit que la souffleuse est moins fiable que la remplisseuse.

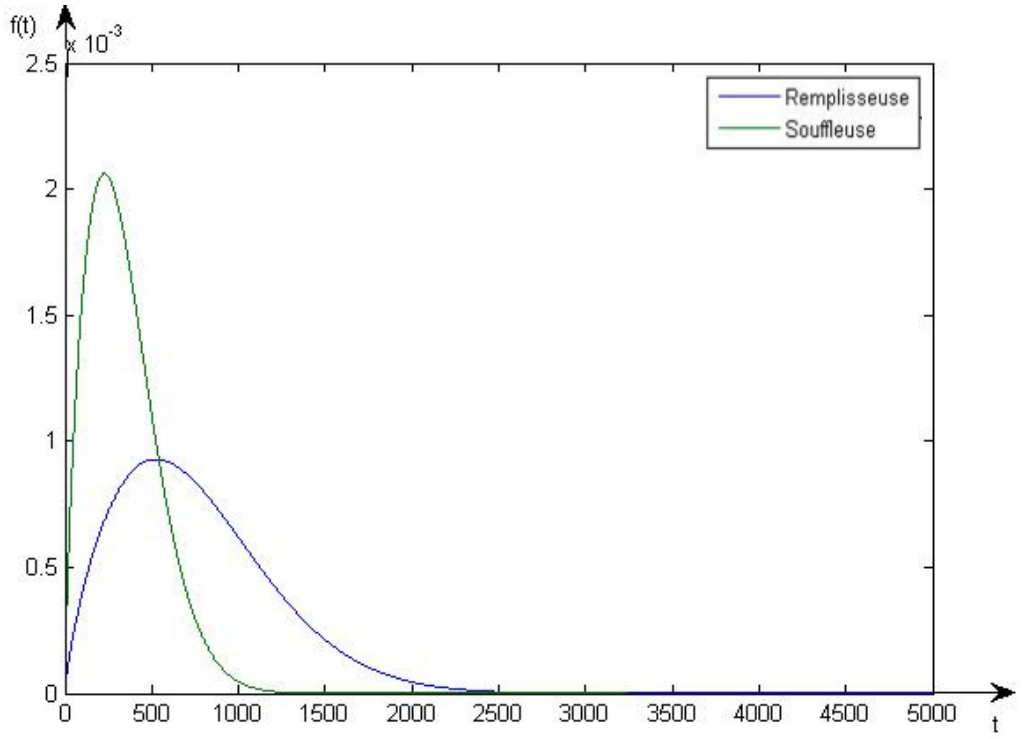


Figure IV.3 : densité de probabilité du modèle Weibull

Cette figure est obtenue à l'aide de la fonction Matlab :

plot (t , wblpdf (t , η , β) , t , wblpdf (t , η , β))

Interprétation

On constate que la souffleuse enregistre la plus grande densité de probabilité de défaillance, ce qui confirme la criticité de cet organe par rapport à la remplisseuse.

Conclusion

Ce chapitre a permis d'analyser la fiabilité des équipements. Dans un premier temps, on a identifié la ligne de production qui engendre un temps d'immobilisation le plus important, qui justifie la perte enregistrée au niveau de la zone (1) du conditionnement. L'analyse de la fiabilité des équipements a montré que ceux-ci sont en majorité sujets à des défaillances aléatoires. Une analyse rigoureuse des éléments les plus pénalisant (souffleuse, remplisseuse) de cette ligne est donc nécessaire. En deuxième lieu, on a identifié les équipements les plus fiables en moyenne et on les a classés par ordre croissant du temps de bon fonctionnement.

V

OPTIMISATION DU RENOUVELLEMENT

Introduction

La maintenance industrielle, qui a pour but d'assure le bon fonctionnement des outils de production, est une fonction stratégique dans une entreprise. Intimement liée à l'apparition des nouveaux modes de gestion, au développement technologique et à la nécessité de réduction des coûts de production. Aujourd'hui, elle n'a plus comme seul objectif de réparer les outils de travail, mais aussi de prévoir et d'éviter les disfonctionnements, afin de maximiser la disponibilité.

L'objectif de ce chapitre est d'optimiser les temps de renouvellement des composants, de sorte à minimiser les coûts des pannes ou maximiser la disponibilité d'un équipement. Tout d'abord, il est nécessaire de définir la façon d'obtenir les éléments économiques. Ensuite, on présentera les méthodes de calcul des temps de renouvellements optimaux en se basant sur un modèle de maintenance adéquat. Enfin, on proposera un regroupement de ces actions de maintenance préventive.

V.1. Choix des composants :

La moyenne des temps de bon fonctionnement (MTBF) de la souffleuse trouvée dans l'analyse de fiabilité effectuée précédemment, l'importante consommation en pièces de rechange, et l'appartenance de cet équipement à la zone A (soit 59% des temps d'immobilisation) de la courbe ABC de l'analyse Pareto, nous amène à faire une étude de renouvèlement optimal pour certains de ses organes, afin d'optimiser ces performances globales. On a choisi les composants qui présentent une fréquence d'utilisation assez grande, afin d'avoir un nombre important de données. Ces composants sont au nombre de quatre. Pour simplifier l'identification, on leur a attribué des codes qui sont présentes dans le tableau suivant :

Tableau V.1 : Les composants choisis

Code	Désignation
02AM00071	JOINT TORIQUE
02AH01021	TUYAU RELISAN
02AM01133	RONDELLE RESSORT
02AM00015	COUSSINET AUTOLAB

V.2. Evaluation des coûts de maintenance :

Les coûts impliqués dans une politique de maintenance peuvent être dissociés au coûts compressibles (coûts de l'entretient préventif) et incompressibles (coûts de défaillance). Dans la première catégorie interviennent le prix des pièces de rechange et la main d'œuvre. Quel que soit la maintenance envisagée, aucun gain n'est possible. En ce qui concerne la deuxième catégorie, une seule variable est prise en compte : le coûts de l'indisponibilité lié aux actions de maintenance effectuées. Ces coûts peuvent être estimés comme suit :

- Coûts de défaillance (C_d) ils s'obtient à partir de :
  - ✓ Perte de Production P_p qui est évaluée par : $P_p = T_a * C_h$ où :

T_a : temps d'arrêt.

C_h : coûts horaire (le manque à gagner) : dans notre cas, on l'a évalué par le produit de la valeur ajoutée multiplié par le nombre de bouteilles produites en heure (12000 bouteilles).

  - ✓ Perte de matière première P_m : Difficile à estimer ;
  - ✓ Perte d'énergie P_e ;

D'où le coût de défaillance C_d :

$$C_d = P_p + P_m + P_e$$

- Coût de l'entretien préventive (C_p), calculé à partir de :

- ✓ Coût de main d'œuvre C_s : Qui est obtenue de la comptabilité analytique ;
- ✓ Coût de pièces de rechange C_m ;

Le coût de l'entretien C_p est alors :

$$C_p = (C_s * T_a) + C_m$$

Le tableau suivant illustre les différents coûts des pièces sujets d'étude (en DA) :

Tableau V.2 : Les moyenne coûts de maintenance

Code	C_p (moy)	C_d (moy)
JOINT TORIQUE	551	44003
TUYAU RELISAN	4460	37419
RONDELLERESSORT	982	53263
COUSSINET AUTOLAB	12300	35018

V.3. Renouvellement optimal

V.3.1 Politique de remplacement périodique et réparation minimale

Dans cette politique un élément neuf au coûts C_p est remplacé à des temps prédéterminés kT ($k=1,2,...$) et les défaillances sont éliminées par des réparations minimales au coûts de panne C_d.

Le nombre moyen de défaillance, dans un intervalle [0 ; T] est donné par :

$$H(t) = \int_0^T \lambda(t)dt \qquad \textbf{(V.1)}$$

Le coûts moyen unitaire s'exprimera comme suit

$$C(t) = \frac{Cd*H(T)+ Cp}{T} \qquad \textbf{(V.2)}$$

En remplaçant *H(t)* dans notre équation on trouve

$$C\ (T) = \frac{Cd * \int_0^T \frac{\beta}{\eta}\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} dt + Cp}{T} \qquad \textbf{(V.3)}$$

Après intégration on aura

$$C(T) = \frac{(\frac{T}{\eta})^{\beta} * Cd + Cp}{T} \qquad \textbf{(V.4)}$$

On dérive notre équation pour trouver

$$\frac{\delta\ C(T)}{\delta\ T} = \frac{Cd\frac{\beta}{\eta^{\beta}}T^{\beta-1}T - Cp - Cd(\frac{T}{\eta})^{\beta}}{T^2} \qquad \textbf{(V.5)}$$

Pour avoir un T_o optimum on pose

$$\frac{\delta\ C(T)}{\delta\ T} = 0 \qquad \textbf{(V.6)}$$

Alors

$$Cd\frac{\beta}{\eta^{\beta}}To^{\beta-1}To - Cp - Cd(\frac{To}{\eta})^{\beta} = 0 \qquad \textbf{(V.7)}$$

D'ou le temps optimum

$$To = \sqrt[\beta]{\frac{Cp}{Cd} * \frac{\eta^{\beta}}{\beta-1}} \qquad \textbf{(V.8)}$$

On va donc chercher le temps optimum de changement préventif pour les composants sujets de l'étude. Pour cela on a modélisé les durées de vie des composants avec la loi de Weibull. Les résultats sont présentés dan le tableau suivant :

Tableau V.3 : Temps optimaux de renouvellement

Code	Paramètres de Weibull	T_o optimum (h)
JOINT TORIQUE	$\beta = 2{,}25; \eta = 515{,}888$	**66,75**
TUYAU RELISAN	$\beta = 4{,}27; \eta = 1424{,}02$	**655,80**
RONDELLERESSORT	$\beta = 3{,}3; \eta = 606{,}18$	**140,42**
COUSSINET AUTOLAB	$\beta = 3{,}094; \eta = 670{,}68$	**376,62**

V.4. **Regroupement des remplacements préventifs**

À partir des résultats trouvés dans le tableau précédant, nous proposerons ci-dessous des temps de remplacement préventif pour chacun des éléments afin d'améliorer la disponibilité du système. Voici un exemple de regroupement des remplacements préventifs

- ✓ 65 (h), remplacer : Joint torique,
- ✓ 130 (h), remplacer : Joint torique, Rondelle ressort,
- ✓ 195 (h), remplacer : Joint torique,
- ✓ 260 (h), remplacer : Joint torique, Rondelle ressort,
- ✓ 325 (h), remplacer : Joint torique, Coussinet Autolab,
- ✓ 390 (h), remplacer : Joint torique, Rondelle ressort,
- ✓ 455 (h), remplacer : Joint torique,
- ✓ 520 (h), remplacer : Joint torique, Rondelle ressort,
- ✓ 585 (h), remplacer : Joint torique,
- ✓ 650 (h), remplacer : Joint torique, Rondelle ressort, Coussinet Autolab et Tuyau Relisan.

Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons choisi les composants les plus pénalisants de la souffleuse et avons évalué leurs coûts de maintenance, leurs paramètres de Weibull et les temps optimum de renouvellement pour chacun d'entres eux en se basant sur une politique de maintenance préventive systématique.

Enfin, Nous avons proposé un temps de remplacement préventif afin de pouvoir regrouper ces interventions.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

L'objectif de ce travail est de bien déceler les éléments du système (Ligne de conditionnement d'huile 1B) les plus pénalisants (temps d'immobilisation) et de mettre en place une stratégie de remplacement optimal tout en tenant compte des coûts engendrés par les interventions préventives et correctives pour assurer une disponibilité maximale de la ligne 1B (et ainsi réduire le coût de défaillances).

Ce travail est partagé en deux parties :

- Une partie théorique : où on a présenté, d'abord, l'organisme d'accueil CEVITAL ainsi que l'unité de conditionnement d'huile. Ensuite on a exposé le problème sujet de notre travail. Enfin, on a défini les différents concepts de la fiabilité et de la maintenance qui pourraient entrer dans la résolution de notre problème.

- Une partie pratique : qui donne un certain nombre de réponses à la problématique posée. Ainsi, en premier lieu, on a pu cibler l'élément critique (à savoir la souffleuse SBO 10/710) qui cause la grande majorité des temps d'immobilisation de la ligne 1B. Ensuite, on a sélectionné les composants de cet élément les plus fréquemment remplacés (consommation importante de pièces de rechange) et, après une étude technico-économique basée sur l'application de la stratégie de renouvellement préventif systématique, on a pu calculer les temps de renouvellement optimaux correspondants aux coûts minimales de la maintenance pour chacun des composants choisis, en tenant compte de la nécessité de regrouper ces actions de maintenance préventive.

Cette étude a permis de voir comment les théories de la fiabilité peuvent contribuer à minimiser les coûts relatifs à la fonction maintenance, et de constater l'importance des données du retour d'expérience au sein du corps maintenance, un concept assez négligé par l'entreprise.

BIBLIOGRAPHIE

[1] AFNOR, Recueil des normes française X06, X 50, X60, AFNOR.

[2] J. L. Bon, « fiabilité des systèmes : méthodes mathématiques », Masson, 1995.

[3] L. Doyen, « Modélisation et évaluation de l'efficacité de la maintenance des systèmes réparables ». Thèse de doctorat a l'institut national polytechnique de Grenoble, 2004.

[4] I.Gertsbakh, « realiability theory, with application to preventive maintenance », Springer, 2000.

[5] W.Griffith, S. Sheu, « Multivariate age-dependent imperfect repair » Naval reseach logistics, vol 38, pp 839-850, Dec 1991.

[6] A. Aissani, « modélisation et simulation », office des publication universitaires Alger, 2007.

[7] H. Block, W. Borges, and T.Savits « age-dependent minimal repair », Applied probability, vol 22, pp 370-385, jun 1985.

[8] A. Alhouaij, « contribution à l'optimisation de la maintenance dans un contexte distribué », thèse de doctorat de l'université de Grenoble, 2010.

[9] H. Attil, M. Saouli, « étude de diagnostic des pannes d'une pompe Boosting », mémoire d'ingéniorat à l'université de Bejaia, 2003.

[10] N. Bouselahene, L. Maameri, « optimisation de la politique de maintenance en groupe pour un système multi-composant », mémoire d'ingéniorat à l'université de Bejaia, 2006.

[11] D. Aissani, A. Aissani, « modèle de fiabilité et sciences de l'ingénieur », actes de la conférence nationale MFSI, 1988.

ANNEXE A

ceVital SPA
DIRECTION CONDITIONNEMENT D'HUILE
NOUVEAU QUAI PORT DE BEJAIA

MACHINE : SOUFFLEUSE
CODE : .....
LOCALISATION : ..... ATELIER DE SOUFFLAGE
LIGNE :..... 1LB

SPECIFICATIONS TECHNIQUES

NOM DU CONSTRUCTEUR : SIDEL TEL :(33) 02 32 85 86 87 CONTACT CONSTRUCTEUR : TEL :	DATE DE MISE EN SERVICE: 01/12/98 N° DE COMMANDE : AFFAIRE N°:

MODELE EQUIPEMENT :SBO10/10 — N° DE SERIE : 710

POIDS A VIDE (dAN) :ROUE DE SOUFFLAGE=10000 dAN ,FOUR I.R=2100dAN

POIDS EN FONCTIONNEMENT (KG) :

CADENCE DE FONCTIONNEMENT : INSTANTANEE : 12000B/H GARANTIE: 12000B/H

CONSOMMATIONS

ELECTRICITE	TENSION ALIMENTATION PUISSANCE INSTALLEE TOTALE (KW) : 310KW PUISSANCE CONSOMMEES (KW): 216KW TENSION (V) : 380V/TRI+NEUTRE+TERRE FREQUENCE (HZ) :50 H./60HZ NEUTRE : REGIME DU NEUTRE : TT COSφ: 0,86 INTENSITE (A) DEMARRAGE :470A MAX NOMINALE : AUTOMATISATION API : SIMATIC S5 115U PS7A/15A Siemens		
AIR COMPRIME (BASSE PRESSION)	PRESSION (BAR): 7BAR SEC (SEC, NON LUBRIFIE, LUBRIFIE)*	DEBIT(Nm3/H) 125	TYPE DE CONNEXION DIAMETRE : 3/4" GAZ TARAUDEE
AIR COMPRIME (HAUTE PRESSION)	PRESSION (BAR): 35 BAR (SEC, NON LUBRIFIE, LUBRIFIE)* FILTRE à 0,01ppm	DEBIT(Nm3/H) 1100	TYPE DE CONNEXION DIAMETRE : 1" GAZ TARAUDEE
EAU DE REFROIDISSEMENT	PRESSION (BAR): 6BAR TEMPERATURE D'ENTREE : 10 à12°C TEMPERATURE DE SORTIE :60°C	DEBIT(M3/H) 9M3/H	TYPE DE CONNEXION DIAMETRE : 1"1/2 GAZ TARAUDEE
AUTRE FLUIDE : HUILE DE VERINAGE	PRESSION (BAR) 7 BAR	DEBIT(M3/H)	TYPE DE CONNEXION DIAMETRE :

CONDITIONS D'UTILISATION

NIVEAU DE BRUIT : Laeq =85 dB (A), Lp CRETE< 135dB

CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT(C°) Conforme à la norme : NF S 31.048

Equipement Complementaire :

BASCULEUR : Type: E R SAMETO TECHNIFIL, TEL: 02 96 87 13 80
Poids: 500 daN
Date de mise en service: 1998
Serie N°: 381153001
V/HZ: 380V/50hz
MOTO-POMPE 220/380V 1400t/mn 1,85 KW 50HZ ABB Ref: M2AA 090L4
ELEVATEUR DE PREFORME: Type : XMRP - SIDEL
Serie N°: 9533
Date de mise en service: 1998

Changement format :passage du format 2L réctangulaire au format 1L

ANNEXE B

Tableau 1 : Temps de bon fonctionnement (Remplisseuse)

Rang (i)	T_i (h)	Rang (i)	T_i (h)
1	21	44	338
2	34	45	340
3	58	46	360
4	61	47	383
5	71	48	406
6	72	49	422
7	72	50	425
8	73	51	427
9	74	52	446
10	75	53	449
11	76	54	470
12	77	55	471
13	86	56	479
14	87	57	485
15	88	58	486
16	96	59	487
17	119	60	488
18	134	61	504
19	152	62	504
20	169	63	505
21	170	64	510
22	171	65	526
23	175	66	541
24	176	67	541
25	177	68	559
26	199	69	561
27	208	70	563
28	209	71	564
29	210	72	571
30	232	73	574
31	240	74	583
32	241	75	591
33	242	76	594
34	255	77	597
35	256	78	609
36	258	79	610
37	273	80	611
38	295	81	612
39	299	82	613
40	300	83	618
41	301	84	622
42	317	85	626
43	337	86	636

Tableau 2 : Temps de bon fonctionnement (Souffleuse)

Rang (i)	T_i (h)	Rang (i)	T_i (h)
1	14	44	199
2	37	45	214
3	37	46	215
4	40	47	216
5	41	48	224
6	41	49	229
7	42	50	233
8	46	51	238
9	48	52	239
10	50	53	239
11	55	54	248
12	58	55	249
13	59	56	272
14	61	57	287
15	63	58	299
16	64	59	303
17	64	60	319
18	74	61	327
19	85	62	330
20	94	63	334
21	113	64	336
22	119	65	340
23	120	66	346
24	122	67	351
25	126	68	354
26	128	69	354
27	129	70	355
28	130	71	355
29	138	72	364
30	141	73	367
31	145	74	380
32	147	75	382
33	148	76	387
34	149	77	393
35	151	78	407
36	152	79	409
37	155	80	419
38	174	81	420
39	180	82	424
40	181	83	439
41	182	84	454
42	185	85	472
43	189	86	473

Rang (i)	T_i (h)	Rang (i)	T_i (h)
87	479	130	700
88	501	131	704
89	521	132	707
90	528	133	708
91	531	134	715
92	539	135	718
93	549	136	721
94	551	137	732
95	558	138	740
96	563	139	758
97	565	140	769
98	575	141	770
99	577	142	783
100	578	143	785
101	585	144	789
102	593	145	790
103	598	146	794
104	612	147	796
105	620	148	801
106	621	149	803
107	626	150	809
108	631	151	817
109	632	152	818
110	633	153	820
111	635	154	827
112	635	155	833
113	639	156	835
114	645	157	836
115	648	158	849
116	649	159	856
117	652	160	858
118	653	161	859
119	654	162	866
120	658	163	869
121	663	164	869
122	663	165	869
123	665	166	875
124	667	167	880
125	668	168	894
126	669	169	898
127	690	170	898
128	694	171	898
129	696	172	907

ANNEXE C

Tableau 3 : Temps de bon fonctionnement (tuyau Relisan)

Rang (i)	T_i (h)	$T_i - T_{i-1}$ (h)
1	920	920
2	936	16
3	984	48
4	1001	17
5	1120	119
6	1124	4
7	1320	196
8	1632	312
9	1656	24
10	1752	96
11	1808	56

Tableau 4 : Temps de bon fonctionnement (rondelle ressort)

Rang (i)	T_i (h)	$T_i - T_{i-1}$ (h)
1	216	345
2	312	285
3	322	60
4	360	90
5	368	156
6	392	9
7	396	86
8	422	64
9	432	165
10	519	120
11	536	0
12	563	82
13	604	8
14	621	105
15	676	105
16	678	52
17	708	168
18	728	38
19	776	37
20	845	95
21	867	114

Tableau 5 : Temps de bon fonctionnement (Joint torique)

Rang (i)	T_i (h)	$T_i - T_{i-1}$ (h)
1	120	120
2	168	48
3	234	66
4	248	14
5	367	119
6	384	17
7	388	4
8	416	28
9	456	40
10	460	4
11	560	100
12	584	24
13	712	128
14	836	124
15	848	12

Tableau 6 : Temps de bon fonctionnement (coussinet Autolab)

Rang (i)	T_i (h)	$T_i - T_{i-1}$ (h)
1	238	238
2	300	62
3	319	19
4	348	29
5	367	19
6	420	53
7	451	31
8	453	02
9	465	12
10	548	83
11	567	19
12	584	17
13	622	38
14	622	0
15	657	35
16	660	03
17	768	108
18	784	16
19	867	83
20	868	01
21	897	29
22	936	39
23	960	24

Résumé

L'une des tâches essentielles d'un service maintenance est l'optimisation des coûts induits par les actions de maintenance préventives et correctives. Et ce pour influer positivement sur les paramètres techniques, organisationnels que économiques de l'entreprise.

Ce travail a pour objectif la mise à disposition d'un entretien optimal sur l'une des conditionneuses de l'entreprise CEVITAL, pour assurer une efficacité maximale tout en maitrisant la variable coût.

Dans cette étude basée sur les données de retour d'expérience, on a considéré une ligne de conditionnement d'huile (Elio 1L) qui subit des pannes souvent pénalisantes. Après analyse, on a recensé les éléments critiques du système et proposé un plan de renouvellement préventif afin de réaliser le meilleur compromis entre disponibilité et coût.

Mots clés : maintenance, disponibilité, période, renouvellement.