

Remerciements

*Enfin, c'est grâce à Dieu le tout puissant que nous
Cueillons aujourd'hui le fruit de plusieurs années d'études Sans
Relâche aucune Et sans désespoir aucun.*

*C'est à lui seul que nous devons la force et le courage qui
Ne nous a jamais trahis pour atteindre notre objectif qu'il
Soit loué Et remercié en premier Dieu*

A Notre Maitre et encadreur

M BENDAOUI Messaoud

*Nous vous exprimons notre gratitude et nos remerciements les
Plus Sincères pour l'honneur que vous nous faites en acceptant
De juger ce travail. À Notre Maitres et juges
Soyez assuré de notre haute considération et de notre reconnaissance.*

*Je remercie également tous les enseignants du département de
électromécanique.*

Mes collègues ainsi tous les étudiants de promotion

Enfin, je remercie tous ceux qui m'ont aidé

De près ou de loin à réaliser Ce travail



Dédicace

*J'ai le grand honneur de dédier ce modeste travail
A ceux qui m'ont encouragé et soutenu moralement
Et Matériellement pendant les moments plus difficiles*

Durant ma vie.

A ma très chère mère, qui me donne toujours l'espoir de vivre

Et qui n'a jamais cessé de prier pour moi

A Le pur esprit de mon père

A Mes très chers frères Toufik, Zine Eddine, Saïd

Mes très chères sœurs

A toute ma grande famille

A mes très chers amis

Riad BEKKOUCHE, Aziz BAMMOUNE, Yacine HENNAY

Hamid BOUROUROU, Smail GUEDDOUH

Omar BAZINE, BABA OUSMAIL Ahmed

Et enfin a tous mes connaissances

FEKHAR Mounir



Dédicace

*J'ai le grand honneur de dédier ce modeste travail
A ceux qui m'ont encouragé et soutenu moralement
Et Matériellement pendant les moments plus difficiles*

Durant ma vie.

A ma très chère mère, qui me donne toujours l'espoir de vivre

Et qui n'a jamais cessé de prier pour moi

A Le pur esprit de mon père

A mes très chers frères

Mes très chères sœurs

A toute ma grande famille

A mes très chers amis

Et enfin a tous mes connaissances

FEKHAR Hassan

Liste des figures

Les figures de chapitre 2

FIG 2.1 Objectif de la maintenance	9
FIG 2.2 Evolution de la maintenance depuis 1940	9
FIG 2.3 De l'entretien à la maintenance	11
FIG 2.4 Les différentes politiques de maintenance	12
FIG 2.5 Intervention corrective	13
FIG 2.6 Maintenance curative ou réparation	13
FIG 2.7 Maintenance palliative	14
FIG 2.8 Intervention préventive.....	15
FIG 2.9 Intervention préventive systématique.....	15
FIG 2.10 Schématisation de la maintenance prévisionnelle	16
FIG 2.11 Intervention préventive conditionnelle.....	17
FIG 2.12 Diagramme d'Ishikawa	21
FIG 2.13 Diagramme de Pareto ou courbe ABC	22

Les figures de chapitre 3

FIG 3.1 Différents types des produits fabriqués en PLAST-AFRIQUE.....	27
FIG 3.2 Organigramme de l'entreprise PLAST-AFRIQUE	27
FIG 3.3 Procédé de l'extrusion	30
FIG 3.4 les différentes étapes de fabrication des tubes PEHD	32
FIG 3.5 une machine de fabrication des tubes PE	37
FIG 3.6 Défaut sur la bague intérieure et extérieure de l'arbre de la machine de PE.....	38
FIG 3.7 Dégradation du bien et durée de vie	38

Les figures de chapitre 4

FIG 4.1 Courbe en baignoire du taux de défaillance	42
FIG 4.2 La présentation des différentes grandeurs en fonction du temps	44
FIG 4.3 Courbe de fiabilité et fonction de répartition	45
FIG 4.4 formes de $f(t)$, $R(t)$, $\lambda(t)$ en fonction de β	46
FIG 4.5 Courbe en baignoire en fonction de β	46
FIG 4.6 La relation entre les notions FMD.....	51

Les figures de chapitre 5

FIG 5.1 le nuage des points de weibull (la courbe de weibull)	57
FIG 5.2 La Courbe De la Fonction de la Fiabilité	62
FIG 5.3 La Courbe De la Fonction de la Répartition.....	63
FIG 5.4 La Courbe De taux de Défaillance	63
FIG 5.5 La Courbe De la densité de la probabilité de Défaillance	64
FIG 5.6 La Courbe De la maintenabilité en fonction de TTR	66
FIG 5.7 La Courbe De la Disponibilité en fonction de TTR	67
FIG 5.8 Diagramme de PARETO	70

Liste des tableaux

Les tableaux de chapitre 3

Tableau 3.1 Classification du polyéthylène La résistance hydrostatique	29
Tableau 3.2 Classification des quelques défauts selon leurs origines	37

Les tableaux de chapitre 5

Tableau 5.1 L'historique des pannes de la machine de fabrication des tubes PE.....	53
Tableau 5.2 Historique des défaillances et calcule des TTR et TBF	54
Tableau 5.3 les Valeurs de fonction réelle F(ti).....	56
Tableau 5.4 les paramètres de weibull.....	57
Tableau 5.5 La valeur différence entre la fonction de répartition réelle et théorique.....	58
Tableau 5.6 Étude des modèles de Weibull	61
Tableau 5.7 calcule de la maintenabilité.....	65
Tableau 5.8 calcule de la disponibilité.....	67
Tableau 5.9 L'analyse ABC (Pareto).....	69

Liste des abréviations

FMD : Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité.

MTBF : La durée moyenne entre deux défaillances consécutives.

MTTR : Le temps moyen mis pour réparer le système.

TBF : Temps de bon fonctionnement entre deux défaillances.

TTR : Le temps mis pour réparer le système.

λ (t): Taux de défaillance.

μ (t): Taux de réparation.

f (t) : Densité de probabilité.

F (t) : La fonction de répartition.

R (t) : La fonction de fiabilité.

M(t) : Fonction maintenabilité.

D (t) : Fonction de disponibilité instantané.

D_i : Disponibilité intrinsèque.

D_n : La différence de test de Kolmogorov Smirnov.

μ : Taux de réparation

γ : Paramètre de position

η : Paramètre d'échelle

β : Paramètre de forme

Table de matières

Liste des figure	I
Liste des tableaux	II
Liste des abréviations	III
L'introduction générale	1
CHAPITRE 1 : Étude bibliographique	3
CHAPITRE 2 : Généralité et méthodologie d'application de la maintenance	8
1. Introduction	8
2. Généralité sur la maintenance	8
2.1 Définition	8
2.2 Les objectifs de la maintenance	9
2.3 Evolution de la maintenance	9
2.4 L'importance de la maintenance.....	10
2.5 Gestion de la maintenance	10
2.5.1 Principe de la gestion	10
2.5.2 Objectif de la gestion de maintenance	10
2.6 De l'entretien à la maintenance.....	11
3. Politiques de maintenance.....	12
3.1 Maintenance corrective.....	12
3.1.1 Maintenance curative	13
3.1.2 Maintenance palliative	13
3.2 Maintenance préventive	14
3.2.1 Maintenance préventive systématique	15
3.2.2 Maintenance préventive prévisionnelle	16
3.2.3 Maintenance préventive conditionnelle	16
3.2.4 Maintenance préventive dite « de luxe »	17
4. Opérations de la maintenance préventive	17
5. Classification des tâches de maintenance	18
6. Centralisation ou décentralisation de la maintenance	19
6.1 La centralisation.....	19
6.2 La décentralisation	20
7. Les méthodes d'analyse de défaillance.....	20

7.1	Diagramme Cause-Effets	20
7.1.1	Définition	20
7.1.2	LES 5M	20
7.2	Méthode ABC (Diagramme Pareto)	21
7.2.1	Diagramme de Pareto	21
7.2.2	Définition de la méthode ABC.....	22
7.2.3	But de la méthode ABC	23
7.3	La méthode AMDEC	23
7.3.1	Définition	23
7.3.2	Objectifs de l'AMDEC	23
7.3.3	Démarche pratique de l'AMDEC.....	24
7.4	Conclusion des méthodes d'analyse de défaillance	24
8.	Conclusion.....	24
CHAPITRE 3 : La stature de la maintenance préventive dans l'entreprise		
PLAST-AFRIQUE		
1.	Introduction	25
2.	Description de PLAST-AFRIQUE SARL	25
3.	Les différents produits de SARL PLAST-AFRIQUE	25
4.	Organigramme de l'entreprise PLAST-AFRIQUE	27
5.	Le processus de fabrication des tubes en polyéthylène	28
5.1	Le polyéthylène : un choix durable.....	29
5.2	Cycle de vie du tube PE (Polyéthylène)	29
5.3	Avantages et Inconvénients du PEHD.....	30
5.4	La méthode d'extrusion	30
5.5	Le Recyclage.....	32
6.	L'importance de la maintenance préventive dans l'industrie	32
6.1	Causes d'échec	34
6.2	Facteurs de réussite	35
6.3	Présentation du service maintenance dans PLAST-AFRIQUE.....	36
6.3.1	Maintenance préventive dans PLAST-AFRIQUE.....	36
7.	Défauts des machines électromécanique tournantes.....	36
8.	Conclusion.....	38

CHAPITRE 4 : Évaluation de la FMD des équipements industriels	40
1. Introduction	40
2. Fiabilité	40
2.1 Fiabilité d'un système	40
2.2 Définition	40
2.3 Objectifs de la fiabilité.....	41
2.4 Principales lois de probabilité utilisées en fiabilité	41
2.5 Paramètres nécessaires à la mesure de fiabilité	41
2.5.1 Durée de vie	41
2.5.2 Densité de probabilité	42
2.5.3 Fonction de répartitions.....	42
2.5.4 La fonction de fiabilité	42
2.5.5 Taux de défaillance	42
2.5.6 Le MTTF	43
2.5.7 Le MTBF.....	43
2.6 Loi de Weibull	44
2.6.1 Signification des paramètres du modèle de Weibull.....	45
2.6.2 Application à la fiabilité.....	47
2.7 Test de KOLMOGOROV-SMIRNOV	47
2.8 Facteurs ayant des répercussions sur la fiabilité.....	48
3. Maintenabilité	49
3.1 Définition	49
3.2 Taux de réparation μ	49
3.3 Amélioration de la maintenabilité.....	50
4. La Disponibilité.....	50
4.1 Définition	50
4.2 Les type de disponibilité	51
4.2.1 Disponibilité intrinsèque	51
4.2.2 Disponibilité instantanée	51
4.3 Amélioration de la disponibilité.....	51
5. Conclusion.....	51

CHAPITRE 5 : Analyse FMD des équipements résultat et discussions	53
1. Introduction	53
2. Historique des pannes	53
3. L'analyse de la Fiabilité	55
3.1 Application du modèle de Weibull	55
3.2 Les trois paramètres de weibull	57
3.3 Test de Kolmogorov Smirnov	57
3.4 Le MTBF et l'écart type	59
3.4.1 Calcule le MTBF	59
3.4.2 Calcule l'Ecart type (σ)	60
3.5 Calcul de $R(t)$, $F(t)$, $f(t)$, $\lambda(t)$ « $t = \text{MTBF}$ ».....	60
3.6 Calculs de la fiabilité $R(t)$, La Fonction de répartition $F(t)$, la densité probabilité $f(t)$ et du taux de défaillance $\lambda(t)$	61
3.7 Présentation des courbes $R(t)$, $f(t)$, $F(t)$, $\lambda(t)$	62
4. L'analyse de La maintenabilité	65
5. L'analyse de la disponibilité	66
5.1 Disponibilité intrinsèque	66
5.2 Disponibilité instantané	67
6. L'optimisation de la performance de la machine	68
6.1 Un plan de maintenance préventive systématique	68
6.2 Le diagramme de PARETO (ABC)	69
7. Recommandations	71
8. Conclusion.....	72
Conclusion générale	73
Annexes	V
Références bibliographiques	VII
Résumé	X

Introduction générale

L'introduction générale :

Dans un contexte économique en constante évolution, la concurrence oblige l'industriel à améliorer le rendement de ses installations de production pour répondre aux besoins de ses clients. À partir de son action directe sur les équipements de production, la maintenance est devenue un levier de performance incontournable qui conditionne les résultats d'une organisation.

Dans les entreprises industrielles on trouve que le plan de maintenance fourni par le constructeur des équipements est standard, non économique et non satisfaisant avec la charge de travail de la machine,

Donc Le responsable de maintenance préventive mise en place un plan de maintenance permet d'optimiser les opérations de maintenance et surtout de les effectuer au bon moment, l'objectif final étant d'assurer la qualité du produit et d'améliorer le taux de disponibilité des équipements pour augmenter la productivité.

La maintenance basée sur la fiabilité et la disponibilité du processus utilisé pour élaborer un plan de maintenance préventive optimisé et pour réduire la probabilité de la défaillance fonctionnelle.

Contenu du travail

Ce travail a été effectué selon les étapes suivantes :

- Le premier chapitre a pour vocation de présenter l'étude théorique (étude bibliographique) dans la nôtre cela nous permet de voir les procédés d'étude de la maintenance préventive, calcul de la fiabilité, et les différents problèmes résoudre dans les plus récents travaux de recherche dans le domaine de maintenance industrielle.
- Le deuxième chapitre traite les Méthodologie d'application de la Maintenance. On a basé sur les généralités et la définition de la maintenance et leur déférents types (corrective et préventive), les opérations de la maintenance, les taches de la maintenance, la déférence entre Centralisation ou décentralisation de la maintenance, et Les méthodes d'analyse de

Introduction générale

défaillance dans l'entreprise et précisément dans les machines mécanique et électromécanique.

- Le troisième chapitre est consacré à définir l'endroit de la maintenance préventive dans l'entreprise industrielle **PLAST AFRIQUE, Sarl**.
- Le quatrième chapitre. Aborde les processus et les étapes pour faire une étude d'évaluation FMD (fiabilité, maintenabilité, disponibilité) des équipements industriels de notre entreprise. On a fait une étude analytique et on a proposée des solutions.
- Le cinquième chapitre on a appliqué l'étude théorique qu'est on a élaboré dans le chapitre précédant et on a fait une Analyse FMD d'une machine de l'entreprise, et finalement on a déclenché une discussion par apport les résultats qu'on a trouvés.

Objectifs de la thèse

Cette thèse est concrétisée par l'élaboration d'une politique de maintenance préventive systématique optimisée qui tient compte de l'incertitude affectant les modèles de fiabilité du système.

L'objectif principal de cette thèse est de proposer une stratégie de maintenance préventive, qualifiée d'adaptative, dont le temps d'intervention s'actualise en fonction de l'état de dégradation relevé lors d'inspections. Elle a en outre pour vocation de résoudre le problème de l'estimation de la durée de vie résiduelle en tenant compte de l'information provenant des trois approches. En effet, le dénominateur commun de celles-ci est qu'elles permettent d'obtenir une loi de fiabilité soit sur base de temps d'arrêt soit sur base de temps d'atteinte d'un seuil de dégradation. Cette loi de fiabilité est ensuite utilisée pour calculer la durée de vie résiduelle.

Ce travail de recherche a pour objectif d'apporter une contribution dans l'étude de lois de fiabilité basée sur la dégradation. Plus particulièrement, nous nous sommes focalisés sur des cas d'étude fréquemment rencontrés dans le milieu de la production des produits PVC. Nous avons ainsi identifié trois approches essentielles pour le calcul de la fiabilité :

1. la modélisation physique des défaillances ;
2. le suivi d'indicateurs de dégradation et 3. la fiabilité statistique.

Chapitre 1

Étude bibliographique

CHAPITRE 1 : Étude bibliographique

Contexte de la thèse

Cette thèse s'inscrit dans le contexte des modèles de fiabilité prévisionnelle basés sur des données de dégradation en vue d'optimiser la maintenance d'équipements industriels. D'un point de vue historique, la dégradation fut d'abord prise en compte à l'aide de lois empiriques utilisées pour le dimensionnement et la conception d'équipements mécaniques soumis à des sollicitations. Il arrivait malheureusement qu'un équipement subisse une avarie bien avant la fin de sa mission. L'expérience montra dès lors que ces modèles évolutifs de dégradation étaient soumis à de nombreuses incertitudes et l'accumulation des temps de défaillance alors permis de dresser des profils de fiabilité générique pour des classes d'équipements fréquemment utilisés comme les roulements à billes. Par la suite, grâce aux développements de capteurs de plus en plus performants et à l'aide de système d'acquisition et de logiciel adaptés, une nouvelle source de données est devenue disponible à savoir la mesure d'indicateurs indirects de dégradation (vibration, température, puissance consommée) ... Cette nouvelle mesure de la dégradation inexploitation permet de suivre chaque équipement et de détecter des anomalies par rapport à l'évolution planifiée de la dégradation. L'objectif poursuivi à l'aide de ces modèles et de ces mesures est de parvenir à obtenir la durée de vie résiduelle propre à chaque équipement. A l'heure actuelle, cette problématique fait l'objet de nombreux développements qui contribuent à développer des modèles de maintenance intelligente permettant de réduire les coûts de maintenance et d'augmenter la disponibilité des équipements. C'est pourquoi le groupe de recherche en fiabilité et maintenance des équipements mécaniques du service de Génie Mécanique s'investit dans cette thématique. Afin d'obtenir cette durée de vie résiduelle, trois approches ont été identifiées, celles-ci se distinguent par la nature de données utilisées et par leur situation temporelle par rapport à la durée d'utilisation de l'équipement :

1. l'étape de conception (avant) : la première approche consiste à comprendre et modéliser les mécanismes physico-chimiques de dégradation menant à la défaillance dans des conditions données. Ces modèles permettent alors d'estimer une durée de vie attendue en fonction des sollicitations imposées ;
2. la phase d'exploitation (pendant) : la deuxième méthode consiste à définir des indicateurs mesurables de performance de la machine et d'établir un diagnostic par rapport à des valeurs

Chapitre 1 : Étude bibliographique

seuils à déterminer (condition monitoring). Le suivi de ces indicateurs permet également de détecter des dérives suite à une perturbation des paramètres du processus ou suite à une perturbation extérieure ;

3. la collecte de données post-défaillances (après) : la troisième approche consiste à réaliser une étude statistique sur les temps d'arrêts relevés en fin de vie de l'équipement.

Ces trois approches permettant d'établir des modèles de fiabilité sur base d'événements (temps de défaillance ou temps d'atteinte d'un seuil de dégradation).

La première approche requiert de nombreux développements et essais expérimentaux pour parvenir à identifier une loi qui régit le processus de dégradation. Les modèles physiques de défaillance prennent souvent en compte les variables d'influence qui vont modifier l'évolution de la dégradation (contrainte, température, pression, ...) et s'adaptent donc facilement au changement de conditions de fonctionnement. Elle est principalement utilisée en phase de conception d'un équipement afin de garantir que ce dernier puisse accomplir sa mission pour des conditions de fonctionnement connues. Par ailleurs, elle permet également d'obtenir la durée de vie résiduelle spécifique en temps réel à condition que l'on puisse mesurer le niveau de dégradation ; le pronostic étant simplement réalisé en extrapolant la loi paramétrique du processus de dégradation.

La deuxième approche nécessite un investissement en matériel conséquent (capteur, système d'acquisition, logiciel, ...) mais permet de définir des seuils sur les variables du processus permettant la plupart du temps d'anticiper la défaillance menant à la ruine de l'équipement. Cette approche permet d'obtenir la durée de vie résiduelle si des algorithmes de pronostic sont mis en place afin de prédire l'évolution future de l'indicateur de dégradation.

La troisième approche, simple à mettre en œuvre, nécessite un grand nombre de temps de défaillance et sera donc utilisée pour des équipements amenés à être remplacés après le constat de la défaillance. Toutefois, elle ne permet pas d'obtenir la durée de vie résiduelle spécifique à un équipement en temps réel mais fournit un ordre de grandeur de la durée de vie du lot d'équipements.

L'arrêt total de n'importe quel équipement industriel en fonctionnement sur une ligne de production provoque des sueurs froides à tout exploitant : perte de temps, perte en production,

Chapitre 1 : Étude bibliographique

donc d'argent, puis perte de crédibilité auprès des clients de l'entreprise, donc perte d'argent à nouveau etc. C'est un cercle infernal dans lequel, on le comprend aisément, aucun industriel ne souhaite rentrer, d'où l'importance qu'il faut accorder à la très forte demande pour l'évaluation de la fiabilité conformément à la norme de sûreté de fonctionnement. La fiabilité est une fonction de temps qui estime par des méthodes statistique l'aptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise dans des conditions données et pour un intervalle de temps donné [1], [2]. L'augmentation de la complexité d'un système mécanique, fait diminuer sa fiabilité [3], [4] si l'on ne prend pas des mesures compensatoires. Un système formé de composants indépendants, c'est-à-dire en série, si un seul des composants est en panne, le système ne fonctionne plus. On dit que le système est sans redondance. La fiabilité de ces systèmes se détériore dramatiquement avec l'augmentation du nombre des composants.

La redondance matérielle est très répandue dans les domaines où la sûreté de fonctionnement est cruciale pour la sécurité des personnes et de l'environnement, comme dans l'aéronautique ou le nucléaire. D'une manière générale, les systèmes réels sont constitués de plusieurs composants et présentent plusieurs modes de défaillance, de tels systèmes sont dits complexes et leurs analyses devient plus en plus difficile. Intégrer la redondance dans les systèmes est particulièrement efficace lorsque les défaillances aléatoires prédominent ou dans les systèmes critiques. Ceci suggère qu'une telle technique contribue à l'accroissement de la fiabilité [5], [6]

Un système redondant contient un ou plusieurs composants ou sous-systèmes de veille dans la configuration du système.

Ces unités de réserve permettront au système de continuer à fonctionner lorsque l'unité principale tombe en panne. La défaillance du système se produit uniquement lorsque tout ou partie des unités de secours ne parviennent pas. Par conséquent, la redondance est une technique de conception du système qui peut augmenter la fiabilité du système.

Cette application vise à augmenter la fiabilité totale du système par une disposition en parallèle des composants de fiabilités différentes. La figure 2 montre l'amélioration de la fiabilité du système en fonction du nombre de composants et de leur fiabilité. Néanmoins cette approche reste coûteuse pour les systèmes de faible complexité.

La redondance consiste donc à disposer plusieurs exemplaires d'un même équipement ou d'un même processus ou de tout autre élément participant à une solution mécanique, électronique ou

Chapitre 1 : Étude bibliographique

industrielle [8]. Selon les circonstances elle est utile : •pour augmenter la capacité totale ou les performances d'un système, pour réduire le risque de panne, pour combiner ces deux effets. On distingue trois grandes catégories de redondances dont l'utilisation rend plus fiable le système : Les redondances actives Les redondances passives ou (standby) Les redondances majoritaires (équipements électroniques).

Une première thèse de doctorat portant sur la prise en compte de l'incertitude dans les modèles fiabilistes de maintenance industrielle a été présentée en 2007 par Olivier Basile [7]. Cette thèse était donc essentiellement consacrée à l'obtention de la fiabilité par la troisième approche. La principale limitation de cette dernière est qu'elle ne permet pas d'estimer la vie résiduelle d'un équipement spécifique.

Finalement, cette thèse s'est concrétisée par l'élaboration d'une politique de maintenance préventive systématique optimisée qui tient compte de l'incertitude affectant les modèles de fiabilité du système. Cette étude a notamment montré l'intérêt pour le gestionnaire de maintenance de considérer et de tenter de réduire les incertitudes dans les prévisions des performances annoncées. Elle a également permis de prendre conscience de la difficulté de garantir un indicateur de performance (coût, disponibilité) en se basant uniquement sur une valeur moyenne et a donc mis en évidence l'intérêt des intervalles de confiance.

Une deuxième thèse de doctorat présentée en 2008 par Bové Kilundu [8] s'est consacrée plus en détail à la deuxième approche dite du condition monitoring. Elle s'est ainsi intéressée à l'exploitation de mesures vibratoires en vue de la détection et du diagnostic. La question des indicateurs pertinents a été abordée et une démarche de prétraitement des signaux en vue du débruitage a été proposée. Elle a également contribué au développement d'approches de détection précoce de dégradations mécaniques et a développé plusieurs méthodes de diagnostic. Trois applications expérimentales ont été mises en œuvre afin d'évaluer les performances de ces outils de diagnostic : la première concerne l'identification de défauts multiples de machines tournantes, la seconde est dédiée à la détection précoce de défauts superficiels de roulements et la troisième s'intéresse à la reconnaissance de l'usure d'outils de coupe.

Une autre thèse en cours de réalisation, faisant l'objet des travaux de recherche d'Arnaud Lesage, vise à établir des liens entre la fiabilité et la qualité [9-10]. L'objectif est d'évaluer les gains potentiels obtenus en réalisant une maintenance basée sur la qualité en fonction des

Chapitre 1 : Étude bibliographique

différents paramètres du modèle (périodicité de maintenance systématique, périodicité d'inspections, taille de l'échantillon pour la mesure de la qualité, ...). Les données de qualité sont de trois types :

- les données qualités processus, souvent des paramètres physiques, qui influent directement sur la qualité ;
- les données qualité online obtenues sur base d'inspections visuelles, capteurs lasers, etc. et permettant une mesure en temps réel de la qualité ;
- les données offlines collectées sur base de tests réalisés avec un certain délai par rapport au processus.

Une dernière thèse menée par Guillaume Fleurquin a pour objectif d'intégrer la maintenance opportuniste dans les modèles de maintenance classique en prenant compte la gestion des ressources humaines. L'objectif est de développer un modèle de maintenance (coût et disponibilité) tenant compte de l'historique du système (temps de panne, durée d'intervention, etc...), de lois physiques de défaillance ainsi que de temps d'arrêt qualifiés d'opportunistes (arrêts non planifiés, période de non production, ...). Un des critères utilisés pour la réalisation d'une maintenance opportuniste se base sur la durée de vie résiduelle. Par la suite, ce modèle intégrera des paramètres liés à la disponibilité des ressources humaines.

Chapitre 2

***Généralité et méthodologie
d'application de la maintenance***

CHAPITRE 2 : Généralité et méthodologie d'application de la maintenance

1. Introduction :

La maintenance implique un certains nombres de mesures organisationnelles, techniques et économiques. Après avoir démontré sa rentabilité la maintenance représente une fonction principale dans beaucoup d'entreprises industrielles et de services.

Dans ce chapitre, nous présentons un aperçu général sur les concepts généraux et méthodologie d'application de la maintenance industrielle.

2. Généralité sur la maintenance :

2.1 Définition :

La maintenance est l'ensemble des moyens nécessaires pour maintenir et remettre les facteurs d'opérations en bon état de fonctionnement. [11]. Elle comprend l'ensemble des moyens d'entretien leur mise en œuvre. La différence entre la maintenance et l'entretien est que ce dernier consiste à maintenir les facteurs d'opérations en état de fonctionnement adéquat. En fait, les facteurs d'opérations se manifestent dans les moyens et les ressources indispensables à la création du bien ou du service, comme entre autres : les machines, les équipements, etc. Selon AFNOR X 60-010, la maintenance est « l'ensemble des activités destinées à maintenir ou à réaliser un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service bien déterminé.

Maintenir, c'est assurer ces opérations au coût optimal. [12]. Ces activités sont une combinaison d'activités techniques, administratives et de management ». D'après la définition CEN projet WI 319-003 (1997), la maintenance est « l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de gestion durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise ». [12]. La fonction requise est ainsi définie : « fonction, ou ensemble de fonctions d'un bien considérées comme nécessaires pour fournir un service donné ». Le problème qui réside est que la plupart des entreprises ne sont pas sensibilisées à l'importance de la maintenance au sein de l'industrie. La définition de la maintenance fait donc apparaître 4 notions :

- Maintenir qui suppose un suivi et une surveillance
- Rétablir qui sous-entend l'idée d'une correction de défaut

CHAPITRE 2 : Généralité et méthodologie d'application de la maintenance

- État spécifié et service déterminé qui précise le niveau de compétences et les objectifs attendus de la maintenance ;
- Coût optimal qui conditionne l'ensemble des opérations dans un souci d'efficacité économique.

2.2 Les objectifs de la maintenance :

Les objectifs de la maintenance, schématisés dans la (figure 2.1) Sont nombreux :

- 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 au maintien de la sécurité au travail.
- Consolider la compétitivité de l'entreprise (exemple : améliorer la productivité) [13].



FIG 2.1 Objectif de la maintenance

2.3 Évolution de la maintenance :

Dans un contexte de concurrence économique à l'échelle planétaire, la gestion de la maintenance est loin d'être stabilisée dans un environnement où l'automatisation et le processus de fabrication deviennent de plus en plus complexes. Depuis les années 1940, l'évolution de la maintenance peut être tracée à travers trois générations (Figure 2.2) [14]

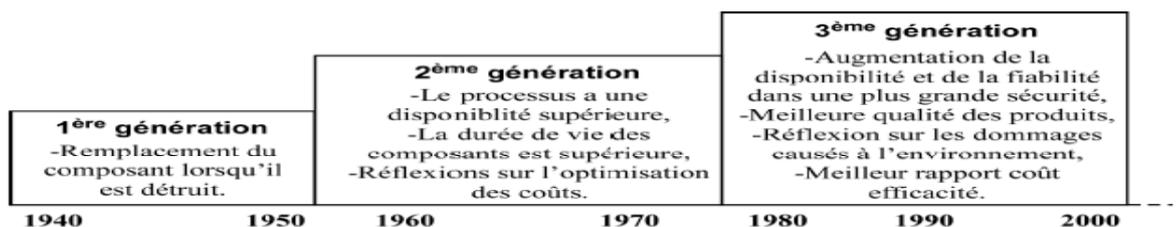


FIG 2.2 Évolution de la maintenance depuis 1940

CHAPITRE 2 : Généralité et méthodologie d'application de la maintenance

2.4 L'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. Par conséquent, toute interruption au cours du fonctionnement cause, comme entre autres :

- 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 [15].

2.5 Gestion de la maintenance :

2.5.1 Principe de la gestion :

La gestion de la maintenance dans une installation industrielle c'est :

Définir les moyens à mettre en œuvre pour atteindre ses objectifs

Mesurer les résultats, les comparer avec les objectifs, analyser les écarts et décider

Mesurer les résultats, les comparer avec les objectifs, analyser les écarts et décider des moyens à mettre en œuvre pour corriger la déviation.

Le gestionnaire de maintenance est responsable de la mise en place d'un système de gestion adapté à son entreprise, il doit tenir compte :

- De sa taille ;
- De l'importance de la maintenance ;
- Du degré d'information.

2.5.2 Objectif de la gestion de maintenance :

Les objectifs de la gestion de maintenance seront atteints si le gestionnaire maîtrise parfaitement les paramètres et les conditions de fonctionnement de l'entreprise.

CHAPITRE 2 : Généralité et méthodologie d'application de la maintenance

Le rôle de la maintenance est donc de traiter des défaillances afin de réduire ou si c'est possible d'éviter les arrêts de production.

La maintenance est indissociable des poursuites des objectifs conduisant à la maîtrise de la qualité.

- Les cinq zéros symbolisant les objectifs, concernent la maintenance sont :
- **Zéro panne** : est l'objectif matériel de la maintenance.
- **Zéro défaut** : une production sans défaut nécessite un outil de production en parfait état et une organisation adéquate, sinon tout produit présentant un défaut est assimilable à un arrêt de production et se traduit par une prolongation des délais et des coûts inacceptables.
- **Zéro stock et zéro délai** : une fabrication sans stock n'est pas compatible avec une livraison sans délai que si l'outil de production est parfaitement fiable.
- **Zéro papier** : il faut assurer zéro papier inutile, en particulier les papiers engendrés pour les erreurs, les défauts, les défaillances, le retard ...etc.

2.6 De l'entretien à la maintenance :

Cette différence de vocabulaire n'est pas une question de mode, mais marque une évolution de concept. Le terme maintenance est apparu dans les années 1950 aux États-Unis. En France, on parlait encore à cette époque d'entretien. Progressivement, une attitude plus positive vis-à-vis de la défaillance voit le jour. Il faut tirer une leçon de l'apparition d'une panne pour mieux réagir face aux aléas de fonctionnement (figure 2.3).

Le terme « maintenance » se substitue à celui du « entretien » qui signifie alors « maintenance corrective ».

- Entretien, c'est dépanner, réparer pour assurer le fonctionnement de l'outil de production : Entretien, c'est subir le matériel. [16]

Industrie type	Évolution des matériels	Process automatisé
Entretien	Évolution des fonctions	Maintenance
Subir	Évolution de l'état d'esprit	Maîtriser

FIG 2.3 De l'entretien à la maintenance

CHAPITRE 2 : Généralité et méthodologie d'application de la maintenance

▪ Maintenir, c'est intervenir dans de meilleures conditions ou appliquer les différentes méthodes afin d'optimiser le coût global de possession :

Maintenir, c'est maîtriser.

3. Politiques de maintenance :

Dans la (figure 2.4), nous présentons les différentes politiques suivant le type de maintenance étudiée. Alors que la mise en place d'opérations correctives ne dépend que de l'occurrence d'une panne, les maintenances préventives peuvent être programmées en fonction de différents paramètres.

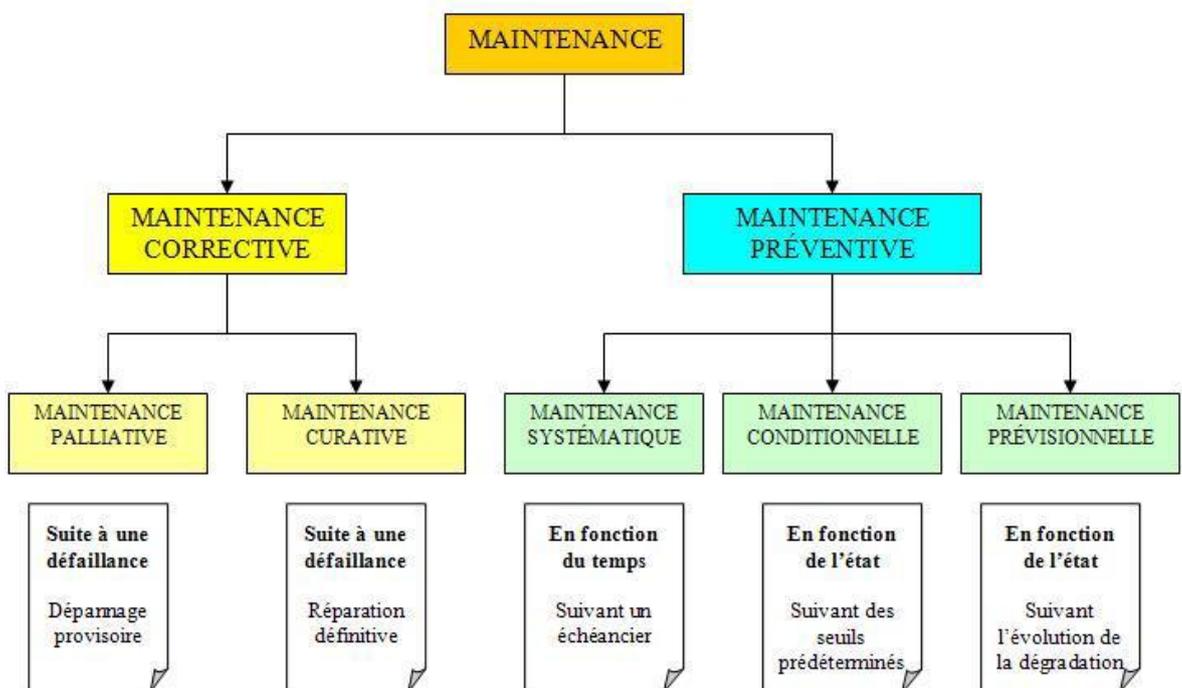


FIG 2.4 Les différentes politiques de maintenance

3.1 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 de fournir à nouveau ses fonctions. (Figure 2.5). On peut distinguer deux types de maintenance corrective la maintenance curative et la maintenance palliative [17].

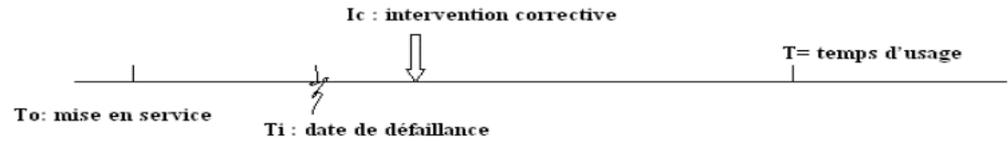


FIG 2.5 Intervention corrective

3.1.1 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 [18].

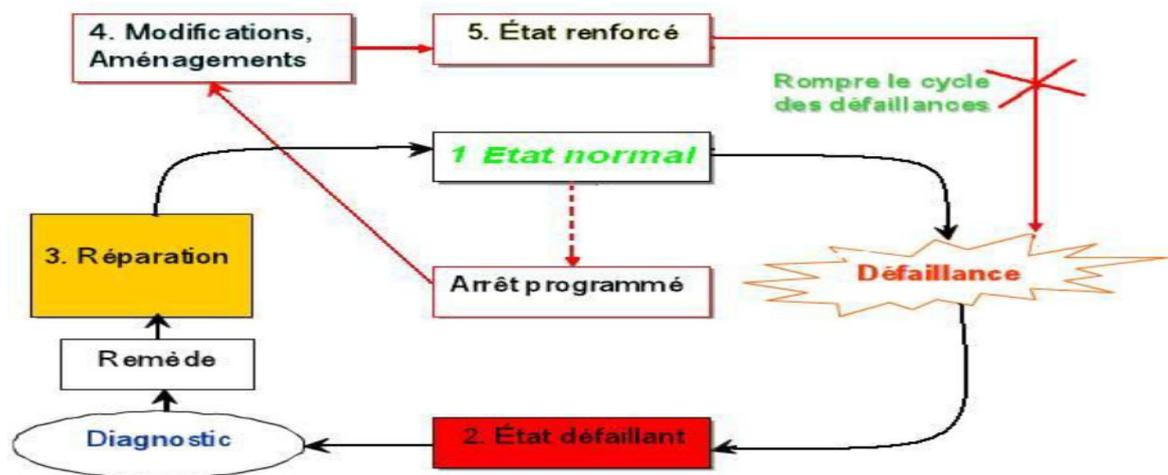


FIG 2.6 Maintenance curative ou réparation

3.1.2 Maintenance palliative :

La maintenance palliative revêt un caractère temporaire, provisoire (figure 2.7). Elle est principalement constituée d'opérations qui devront toutefois être suivies d'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 [17,18]. Son coût est très élevé, pour plusieurs raisons :

CHAPITRE 2 : Généralité et méthodologie d'application de la maintenance

- 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 chers,
- 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 ou en attente qui peuvent entrer directement en fonction à la place de l'équipement défectueux,
- Besoin d'une équipe d'entretien hautement qualifiée et compétente.

Le plus souvent, ces solutions sont un peu coûteuses. [19]. 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.

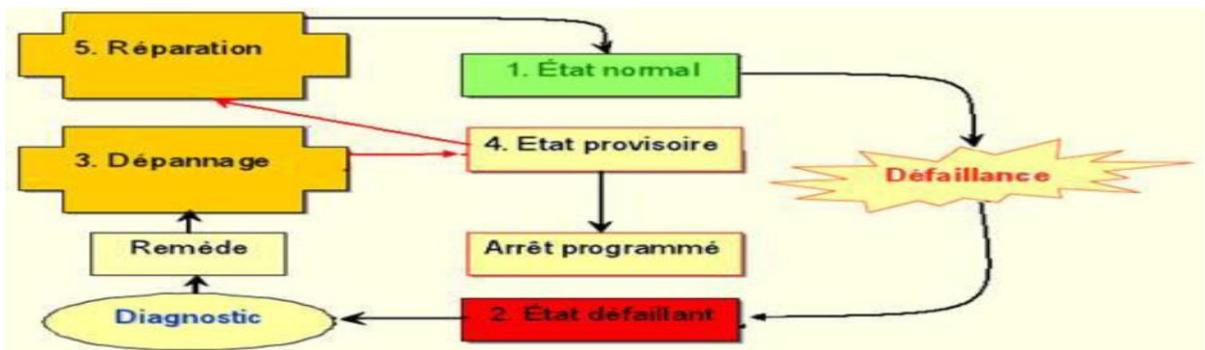


FIG 2.7 Maintenance palliative

3.2 Maintenance préventive :

Opération de maintenance effectuée avant la détection d'une défaillance d'une entité, à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits (suite à l'analyse de l'évolution surveillée de paramètres significatifs) et destinée à réduire la probabilité de défaillance d'une entité ou la dégradation du fonctionnement d'un service rendu (figure 2.8). [20]

Si une entité tombe en panne avant l'occurrence d'une date de maintenance, elle n'est pas réparée et attendra la prochaine date de maintenance préventive. Note : L'intervention préventive sert à améliorer l'état de l'élément. Par conséquent, seules les défaillances progressives sont prises en compte ici. Une politique de maintenance préventive a pour objectifs :

CHAPITRE 2 : Généralité et méthodologie d'application de la maintenance

- 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.

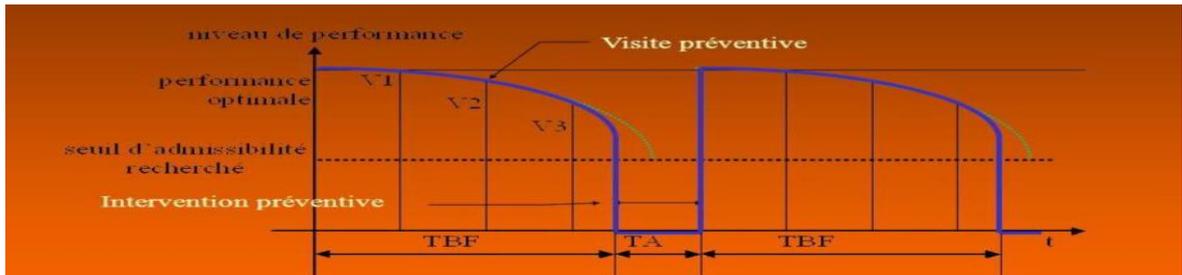


FIG 2.8 Intervention préventive

3.2.1 Maintenance préventive systématique :

Lorsque la maintenance préventive est réalisée à des intervalles prédéterminés, on parle de maintenance systématique, l'opération de maintenance est effectuée conformément à un échéancier, un calendrier déterminé a priori (figure 2.9). Aucune intervention ne peut avoir lieu avant l'échéance prédéterminée [21]. 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 ...

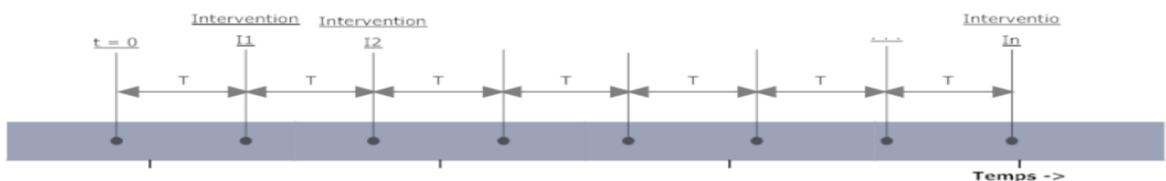


FIG 2.9 Intervention préventive systématique

Où

-T : période d'intervention à intervalles constants

- I_n : intervention préventive systématique

3.2.2 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 un âge du matériel qui n'est pas forcément calendaire mais par exemple le temps de fonctionnement mesuré depuis la dernière inspection [22].

Elle consiste à extrapoler la courbe de dégradation d'un organe pour prévoir une intervention.

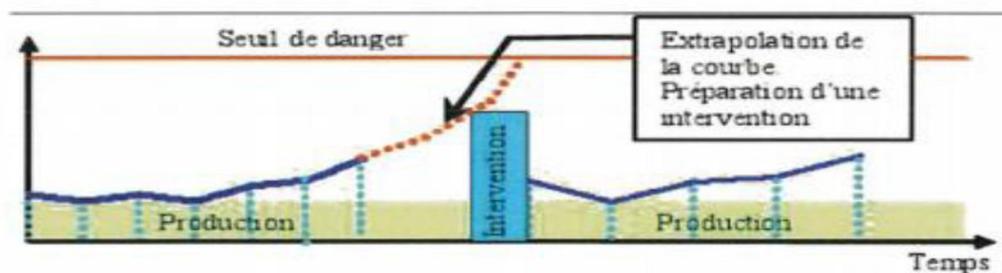


FIG 2.10 Schématisation de la maintenance prévisionnelle

3.2.3 Maintenance préventive conditionnelle :

Cette maintenance est définie comme étant celle que l'on réalise uniquement lorsque l'état du bien le nécessite. La conséquence immédiate est qu'il est nécessaire de savoir mettre en place des techniques de surveillance de l'état du bien (faisabilité technique et économique) et surtout d'être capable de qualifier de façon précise l'état de ce bien. Un certain nombre de paramètres techniques, significatifs de l'état du bien, doivent donc être définis au cas par cas. Lorsque cela est possible (car ce n'est pas toujours le cas) on arrive à optimiser les interventions de maintenance préventive en intervenant uniquement lorsque cela s'avère nécessaire (figure 2.11).

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 de ce traité [23].

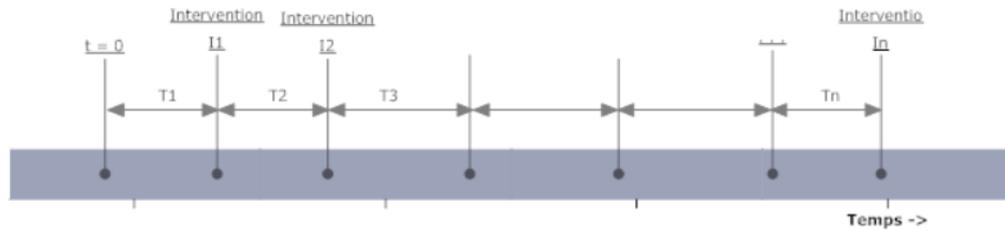


FIG 2.11 Intervention préventive conditionnelle

Où

-T : période d'intervention à intervalles variant

-In : intervention préventive conditionnelle

3.2.4 Maintenance préventive dite « de luxe » :

Il faut éviter d'en faire trop et ce, non seulement pour des raisons économiques mais aussi pour des raisons techniques ; par exemple :

- remplacement systématique des roulements des moteurs tous les ans ;
- vidange systématique des huiles hydrauliques sans prise en compte de capacités ;
- mesure vibratoire de toutes les machines tournantes sans exception.

Cette façon de pratiquer n'est pas seulement du gaspillage, mais entraîne des risques techniques. En effet, au cours de l'arrêt annuel, il peut se produire un mauvais montage quand il y a un grand nombre de roulements à remplacer. [24]

4. Opérations de la maintenance préventive :

✓ **Inspection** : contrôle de conformité réalisé en mesurant, observant, testant ou calibrant les caractéristiques significatives d'un bien ; 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).

CHAPITRE 2 : Généralité et méthodologie d'application de la maintenance

✓ **Contrôle** : vérification de la conformité à 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 du bien 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 bien. 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 du bien. 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 bien. 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 [24,25].

5. Classification des tâches de maintenance :

Les tâches de maintenance sont classées en cinq niveaux. Ceux-ci font référence à la complexité des tâches à effectuer et, entre autres aux ressources matérielles nécessaires à la réalisation de chacune des tâches [25,26] :

- **Tâches de maintenance du premier niveau** : Comporte des réglages simples prévus par le constructeur au moyen d'organes accessibles sans aucun démontage ; ou échange d'éléments accessibles en toute sécurité, sans avoir la nécessité à un outillage spécifique.
- **Tâches de maintenance de deuxième niveau** : Comporte des opérations de dépannage par échange standard d'éléments prévus à cet effet ou opérations mineures de maintenance préventive qui peuvent nécessiter un outillage standard.

CHAPITRE 2 : Généralité et méthodologie d'application de la maintenance

- **Tâches de maintenance de troisième niveau** : Nécessite une identification et un diagnostic des pannes. La réparation s'effectue toujours par un échange de composants fonctionnels et les réparations mécaniques à réaliser sont mineures. L'outillage nécessaire est courant et prévu pour ce type d'intervention. De plus des appareils de mesure (banc d'essai, contrôle, etc....) sont nécessaires pour la remise en route correcte de l'équipement qui a nécessité l'intervention.
- **Tâches de maintenance du quatrième niveau** : Est celui des travaux importants de maintenance corrective ou préventive. Un outillage plus spécialisé est généralement requis tel que du matériel d'essai ou de test, un banc de contrôle, ...etc.
- **Tâches de maintenance du cinquième niveau** : Comporte les travaux de rénovation, de reconstruction ou réparations importantes confiés à un atelier central. Les moyens nécessaires pour effectuer ce type d'intervention sont proches de ceux qui ont été utilisés lors de la fabrication de l'équipement par le constructeur. Après avoir défini l'activité du service de maintenance dans le milieu industriel, nous allons maintenant en détailler la composition avec notamment ses ressources.

6. Centralisation ou décentralisation de la maintenance :

Il existe deux tendances quant au positionnement de la maintenance dans l'entreprise : [27]

6.1 La centralisation :

Toute la maintenance est assurée par un service. D'où les avantages sont :

- Standardisation des méthodes, des procédures et des moyens de communication.
- Possibilité d'investir dans du matériel onéreux grâce au regroupement.
- Vision globale de l'état du parc du matériel à gérer.
- Gestion plus aisée et plus souple des moyens en personnels.
- Rationalisation des moyens matériels et optimisation de leur usage (amortissement plus rapide).
- Diminution des quantités de pièces de rechange disponibles.
- Communication simplifiée avec les autres services grâce à sa situation centralisée [28].

6.2 La décentralisation :

La maintenance est confiée à plusieurs services, de dimension proportionnellement plus modeste, et liés à chacun des services de l'entreprise. D'où les avantages sont :

- Meilleures communications et relations avec le service responsable et l'utilisateur du parc à maintenir.
- Effectifs moins importants dans les différentes antennes.
- Réactivité accrue face à un problème.
- Meilleure connaissance du matériel.
- Gestion administrative allégée.

7. Les méthodes d'analyse de défaillance :

7.1 Diagramme Cause-Effets [30] :

7.1.1 Définition :

Cet outil a été créé par Ishikawa, professeur à l'Université de la TOKYO dans les années 60 et concepteur d'une méthode de management de la qualité totale. Le diagramme causes-effet est une représentation graphique du classement par familles de toutes les causes possibles pouvant influencer un processus. Ces familles de causes au nombre de 5 engendrent la non qualité dans un processus de fabrication. Leur nom commence par la lettre M d'où l'appellation 5M. Ishikawa a proposé une représentation graphique en « arête de poisson »

7.1.2 LES 5M :

Le diagramme d'Ishikawa appelé aussi la méthode des 5M, le diagramme cause à effet ou le diagramme en arête de poisson est une démarche qui permet d'identifier les causes possibles d'un problème ou un défaut (effet).

Le diagramme d'Ishikawa (figure 2). Se présente sous la forme d'un graphe en arêtes de poisson. Dans ce dernier, sont classées par catégorie les causes selon la loi des 5M.

La méthode des 5 M permet d'orienter la réflexion vers les 5 domaines, desquels sont généralement issues les causes :

CHAPITRE 2 : Généralité et méthodologie d'application de la maintenance

M1 - Matières : matières premières, pièces, ensembles, fournitures, identification, stockage, qualité, manutention

M2 - Matériel : Recense les causes probables ayant pour origine les supports techniques et les produits utilisés. Machines, outils, équipements, capacité, âge, nombre, maintenance

M3-Main d'œuvre : directe, indirecte, motivation, formation, absentéisme, expérience, problème de compétence, d'organisation, de management

M4 - Milieu : environnement physique, éclairage, bruit, aménagement, relations, température, climat, marché, législation

M5 – Méthodes : instructions, manuels, procédures, modes opératoires.

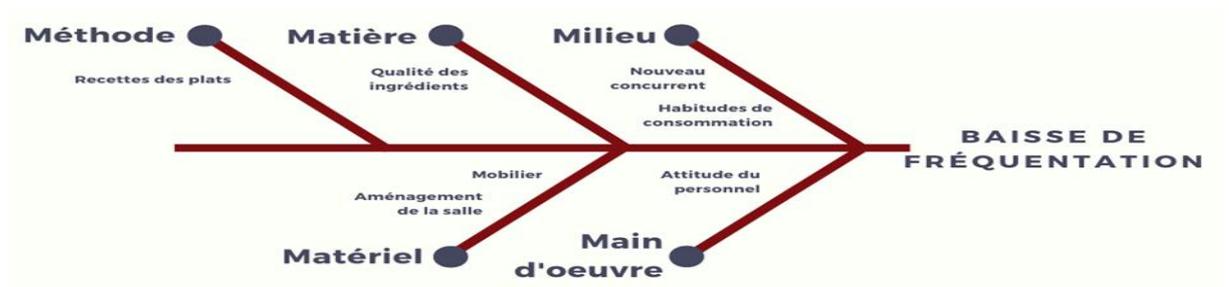


FIG 2.12 Diagramme d'Ishikawa

Le diagramme Causes-Effet est donc l'image des causes identifiées d'un dysfonctionnement potentiel pouvant survenir sur un système. Il se veut le plus exhaustif possible en représentant toutes les causes qui peuvent avoir une influence sur la sûreté de fonctionnement. Les 5 grandes familles ou 5 facteurs primaires sont renseignés par des facteurs secondaires et parfois tertiaires ; Les différents facteurs doivent être hiérarchisés. [30]

7.2 Méthode ABC (Diagramme Pareto) :

7.2.1 Diagramme de Pareto :

Le diagramme de Pareto est un outil statistique qui permet d'identifier l'importance relative de chaque catégorie dans une liste d'enregistrements, en comparant leur fréquence d'apparition.

CHAPITRE 2 : Généralité et méthodologie d'application de la maintenance

Un diagramme de Pareto est mis en évidence lorsque 20 % des catégories produisent 80 % d'un nombre total d'effets. Cette méthode permet donc de déterminer rapidement quelles sont les priorités d'actions. Si on considère que 20 % des causes représentent 80% des occurrences, agir sur ces 20 % aide à solutionner un problème avec un maximum d'efficacité.

7.2.2 Définition de la méthode ABC :

La méthode ABC est un moyen objectif d'analyse, elle permet de classer les éléments qui représentent la fraction la plus importante du caractère étudié, en indiquant les pourcentages pour un caractère déterminé.

La méthode ABC apporte une réponse. Elle permet l'investigation qui met en évidence les éléments les plus importants d'un problème afin de faciliter les choix et les priorités. On classe les événements (pannes par exemple) par ordre décroissant de coûts (temps d'arrêts, coût financier, nombre, etc..), chaque événement se rapportant à une entité. On établit en suite un graphique faisant correspondre les pourcentages de coûts cumulés aux pourcentages de types de pannes ou de défaillances cumulés. Sur le schéma (figure 2.13), on observe trois zones.

1. Zone A : 20% des pannes occasionnent 80% des coûts ;
2. Zone B : les 30% de pannes supplémentaires ne coûtent que 15% supplémentaires ;
3. Zone C : les 50% de pannes restantes ne concernent que 5% du coût global. Conclusion : il est évident que la préparation des travaux de maintenance doit porter sur les pannes de la zone A. toujours de façon claire.

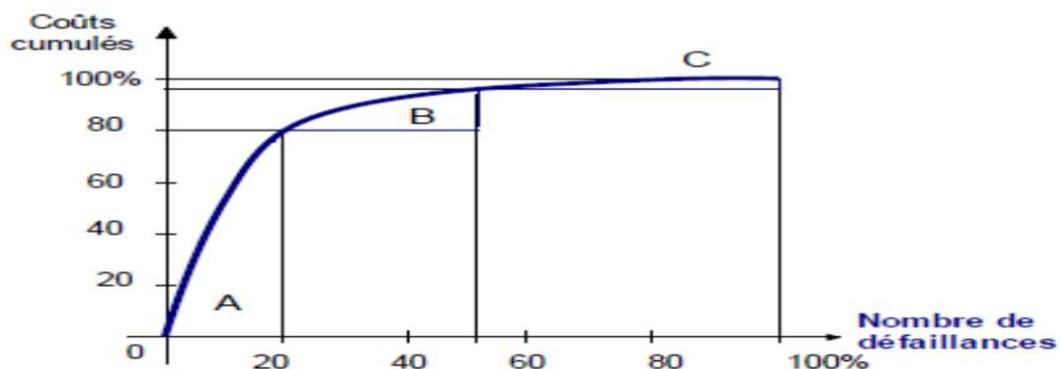


FIG 2.13 Diagramme de Pareto ou courbe ABC

7.2.3 But de la méthode ABC :

L'exploitation de cette loi permet de déterminer les éléments les plus pénalisants afin d'en diminuer leurs effets :

- Diminuer les couts de maintenance.
- Améliorer la fiabilité des systèmes. Justifier la mise en place d'une politique de maintenance. [29,30]

7.3 La méthode AMDEC [30] :

7.3.1 Définition :

L'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité) est une technique d'analyse prévisionnelle de la fiabilité, de la maintenabilité et de la sécurité des produits et des équipements.

D'après AFNOR, l'analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leur criticités (AMDEC) est une méthode inductive permettant pour chaque composant d'un système, de recenser son mode de défaillance et son effet sur le fonctionnement ou sur la sécurité du système.

7.3.2 Objectifs de l'AMDEC :

L'AMDEC est une technique d'analyse prévisionnelle qui permet d'estimer les risques d'apparition de défaillance ainsi que les conséquences sur le bon fonctionnement du moyen de production, et d'engager les actions correctives nécessaires.

Les objectifs intermédiaires sont les suivants :

- Analyser les conséquences des défaillances,
- Identifier les modes de défaillances,
- Préciser pour chaque mode de défaillance les moyens et les procédures de détection,
- Déterminer l'importance ou la criticité de chaque mode de défaillance,
- Classer les modes de défaillance,
- Etablir des échelles de signification et de probabilité de défaillance.

7.3.3 Démarche pratique de l'AMDEC :

La démarche pratique de l'AMDEC se décompose en 4 étapes suivantes :

Etape 1 : initialisation de l'étude.

Etape 2 : description fonctionnelle de la machine.

Etape 3 : analyse AMDEC qui consiste :

- La probabilité d'occurrence F.
- La gravité des conséquences G.
- La probabilité de non détection D.

Etape 4 : synthèse de l'étude/décisions [30,31].

7.4 Conclusion des méthodes d'analyse de défaillance :

Pour réduire le temps de panne des systèmes électromécaniques, il doit connaître la nature du défaut et leurs causes. Dans ce chapitre, nous avons étudié deux méthodes qui permettent d'analyser les défauts des systèmes, ces méthodes sont la méthode de la courbe ABC et la méthode d'AMDEC. La courbe ABC a pour but d'extraire les éléments les plus tombent en panne pour les analyser et la méthode AMDEC a pour but de connaître le mode et la conséquence de défauts.

8. Conclusion :

Au cours de ce chapitre, nous avons vu les concepts de base de la maintenance et on a défini la maintenance et leurs méthodes. Les objectifs et les intérêts de la maintenance dans le domaine industriel, ainsi que les opérations de maintenance préventive et corrective.

On a aussi vu les procédures et la méthodologie à suivre pour poser une stratégie de maintenance efficace concernant les systèmes électromécaniques.

Chapitre 3

*La stature de la maintenance
préventive dans l'entreprise*
PLAST-AFRIQUE

CHAPITRE 3 : La stature de la maintenance préventive dans l'entreprise PLAST-AFRIQUE

CHAPITRE 3 : La stature de la maintenance préventive dans l'entreprise PLAST-AFRIQUE

1. Introduction :

Toute étude de maintenance ne peut être effectuée que si elle trouve une application sur le domaine industriel, dans ce sens, nous avons effectué un stage dans l'entreprise PLAST-AFRIQUE afin de saisir le fonctionnement de l'installation et les interactions de ses différentes fonctions réalisées par les équipements des multiples systèmes et les Informations générales sur l'entreprise en constituant une base de données utile à l'évaluation des risques afin de prendre des mesures pour y remédier.

2. Description de PLAST-AFRIQUE SARL :

Elle est créée en 1994, située à la Zone Economique Bindjebline, Belghanem GHARDAIA spécialisée dans la transformation du PVC et PEHD, elle évoluée rapidement et pris une place parmi les premières au niveau du marché national. Elle a réussi à s'imposer comme leader dans sa branche et surtout comme exemple de sérieux tant par ses différents partenaires que par toutes les institutions avec lesquelles il est en relations professionnelles (administrations financiers, fiscales, sociales...etc...). Et avec un effectif de plus de 42 salariés d'une moyenne d'âge de 35 ans.

Nature de l'entreprise : Producteur

Distributeur

Le matériel : 1995 à 2014.

Les matières premières : local et importation.

3. Les différents produits de SARL PLAST-AFRIQUE :

1) Tubes et tuyaux flexibles en caoutchouc par usage

- Tuyaux flexibles en caoutchouc pour irrigation
- Tuyaux flexibles en caoutchouc pour haute pression

2) Tubes et tuyaux en plastique

- Tubes et tuyaux en polyéthylène (PE)

CHAPITRE 3 : La stature de la maintenance préventive dans l'entreprise PLAST-AFRIQUE

- Tubes et tuyaux en plastique basse pression
- Tubes et tuyaux en plastique haute pression
- Tubes et tuyaux en plastique de petit diamètre
- Tubes et tuyaux en plastique de moyen diamètre
- Tubes et tuyaux en plastique de grand diamètre
- Tubes et tuyaux en plastique haute résistance
- Tuyauteries plastiques rigides

3) Tubes et tuyaux en plastique par usage

- Tuyaux d'égouts en plastique
- Tubes et tuyaux en plastique pour eau
- Tubes et tuyaux de drainage en matière plastique
- Conduits et raccords plastiques de ventilation, aération et pour conditionnement d'air, en plastique

4) Tuyaux flexibles en plastique

- Tuyauteries plastiques flexibles
- Tuyaux flexibles en plastique de grande longueur

5) Tuyaux flexibles en plastique par usage

- Tuyaux flexibles en plastique pour hydraulique
- Tuyaux flexibles en plastique pour eau
- Tuyaux flexibles en plastique à diamètre multiple pour canalisations
- Tuyaux flexibles en plastique pour basse pression
- Tuyaux flexibles en plastique pour haute pression

6) Articles en plastique pour les industries électrique et électronique

- Tuyaux souples plastiques pour conduits pour industries électrique et électronique
- Manchons et gaines plastiques pour industries électrique et électronique
- Gaines plastiques pour câbles électriques
- Gaines de câbles en polyéthylène réticulé (XLPE)

7) Poubelles et corbeilles

8) Pièces et accessoires pour matériel agricole

9) Outillage pour le bâtiment

10) Outils de maçonnerie

- Seaux de maçons

11) Matériel de travail du plâtre

CHAPITRE 3 : La stature de la maintenance préventive dans l'entreprise PLAST-AFRIQUE

- Taloches pour plâtriers
- 12) Pré-transformation des plastiques
- Granulation des plastiques
 - Pastillage des plastiques
- 13) Traitement des thermoplastiques
- Extrusion des thermoplastiques
- 14) Collecte et recyclage des plastiques et du caoutchouc
- Recyclage et retraitement des matières plastiques
 - Recyclage et retraitement des déchets plastiques thermodurcissables



FIG 3.1 Différents types des produits fabrique en PLAST-AFRIQUE

4. Organigramme de l'entreprise PLAST-AFRIQUE

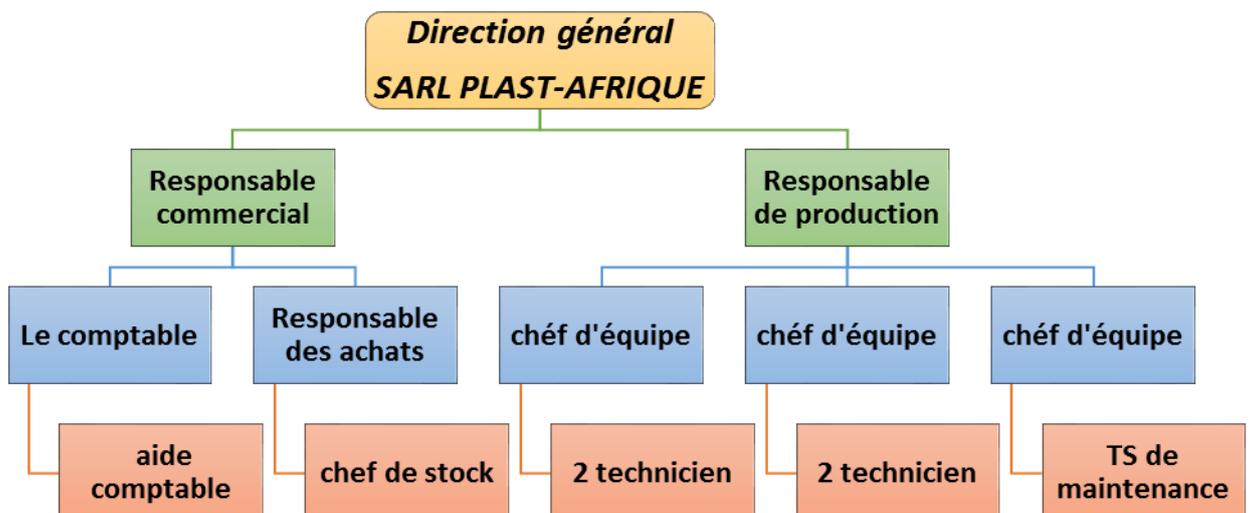


FIG 3.2 Organigramme de l'entreprise PLAST-AFRIQUE

5. Le processus de fabrication des tubes en polyéthylène :

Une fois synthétisés, les polymères se présentent sous forme de poudres ou granulées, prêtes à être transformés en demi-produits ou en produits finis. Il existe également de nombreux procédés de transformation adaptés à la nature du polymère à mettre en œuvre et à la forme finale souhaitée :

- **Injection** : ce procédé permet de donner aux matières plastiques une fois ramollies la forme - simple ou complexe - du moule dans lequel elle a été injectées ; exemples : palettes, coques de télévisions, boîtes, pots, tableaux de bord, ...
- **Roto moulage** : La matière plastique en poudre est introduite dans un moule clos puis est centrifugée sur les parois chaudes. On obtient par cette méthode des corps creux de gros volume ; exemples : cuves, réservoirs, conteneurs, ...
- **Expansion** : le moussage ou expansion des polystyrènes et des polyuréthanes permet de fabriquer des produits alvéolaires ; exemples : calage, sièges automobiles, ameublement, cassettes, ...
- **Compression** : cette méthode sert à mettre en forme les polymères thermodurcissables ; exemples : pièces plates (vaisselle, accessoires électriques, ...).
- **Calandrage** : ce procédé permet d'obtenir des produits plats de grande largeur par laminage de la matière plastique entre plusieurs séries de rouleaux ; exemples : feuilles, plaques, films, sols plastiques.
- **Enduction** : couplée au calandrage, cette méthode permet de déposer une résine plastique sur un support continu (papier, carton, tissu) en décoration ou en protection ; exemples : revêtement de sols, de murs, mobilier, ...
- **Thermoformage** : après avoir été ramollis sous la chaleur, les demi-produits thermoplastiques (plaques ou feuilles) sont emboutis sur une forme ; exemples : gobelets, pots de yaourts, cuves, ...
- **Extrusion** : cette méthode permet de fabriquer des produits en continu ; exemples : profilés, tubes, films, feuilles, sacs, plaques,
- **Extrusion-soufflage** : les matières plastiques extrudées cette fois en discontinu (préformes) sont ensuite soufflées dans un moule pour en prendre la forme ; exemples : bouteilles, flacons, bidons, réservoirs, conteneurs.

CHAPITRE 3 : La stature de la maintenance préventive dans l'entreprise PLAST-AFRIQUE

5.1 Le polyéthylène : un choix durable :

Le PEHD est utilisé depuis plus de 30 ans à grande échelle pour la réalisation de réseaux hydrauliques de toutes sortes et sa fiabilité exceptionnelle n'est plus à démontrer. Le PEHD possède donc des caractéristiques mécaniques supérieures et permet de fabriquer des tubes de pression nominale plus élevée (jusqu'à 25 bar) avec épaisseurs réduites. La contribution du PE à l'amélioration du rendement des réseaux est importante et durable :

- Homogénéité des tubes et raccord offrant la garantie d'une absence de corrosion par le terrain.
- Flexibilité lui permettant d'accepter sans dommage les éventuels mouvements du terrain.
- Raccordement par soudage afin d'éliminer le maximum de joints enterrés tout en renforçant mécaniquement la canalisation.
- Résistance durable à la pression et aux surpressions alliées à une durée de vie importante : 16 bar à 50 ans à 20°C et avec un coefficient de sécurité à l'éclatement supérieur à 3.
- Performance hydraulique durable : encrassement insignifiant, pertes de charges réduites et haute résistance à l'abrasion.

Tableau 3.1 Classification du polyéthylène La résistance hydrostatique

Classification MRS suivant ISO	MRS, M Pa	Résistance hydrostatique à LT, à 20°C ; M Pa
PEHD 3ème génération PE 100	10.0	8.0
PEHD 2ème génération PE 80	8.0	6.3
PEHD 1ère génération PE 63	6.3	5.0
PEHD PE 40	4.0	3.2
PEHD PE132	3.2	2.5

5.2 Cycle de vie du tube PE (Polyéthylène) :

La production de tubes et canalisations polyéthylène PEHD n'émet aucun rejet dans l'environnement. 100% des rebuts de production sont recyclés sur site et l'eau servant au refroidissement des canalisations produites circule en circuit fermé. En conséquence, aucun rejet n'est à craindre pour l'environnement.

La fiabilité du polyéthylène PEHD en termes d'étanchéité surclasse tous les autres matériaux. Sa flexibilité lui permet de s'adapter à tous les terrains, sans risque de casse ou de fuites. Le réseau soudé, son taux de défaillance est proche de ZERO, même sous contraintes. C'est un

CHAPITRE 3 : La stature de la maintenance préventive dans l'entreprise PLAST-AFRIQUE

matériau extrêmement résistant, ce qui explique son expansion sous tous les climats et permet de préserver de manière considérable la ressource en eau. Le polyéthylène est le matériau le plus utilisé au monde pour sa fiabilité.

5.3 Avantages et Inconvénients du PEHD :

a. Avantages :

- Mise en œuvre aisée.
- Excellentes propriétés d'isolation électrique.
- Résistance aux chocs.
- Grande inertie chimique.
- Qualité alimentaire.
- Perte du caractère perméable des PE que ce soit à l'eau, mais aussi à l'air et aux hydrocarbures.

b. Inconvénients :

- Sensibilité aux UV en présence d'oxygène.
- Sensibilité à la fissure sous contrainte
- Mauvaise tenue à la chaleur.
- Collage important.

5.4 La méthode d'extrusion :

Les canalisations de polyéthylène sont fabriquées par une technique de transformation appelée « l'extrusion ». L'extrusion consiste à faire passer la matière à travers une filière afin d'obtenir des produits finis tels que des canalisations par un processus technologique continu. Une ligne d'extrusion présente différents éléments, tous indispensables pour fabriquer une canalisation de bonne qualité :

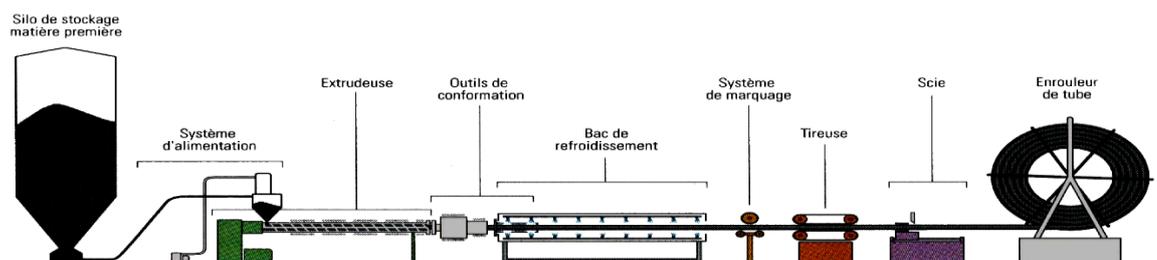


FIG 3.3 Procédé de d'extrusion

CHAPITRE 3 : La stature de la maintenance préventive dans l'entreprise PLAST-AFRIQUE

Un silo de stockage de la matière première : permet de stocker la matière dans de bonnes conditions avant son utilisation dans l'extrudeuse.

Un système d'alimentation : composé de tuyauterie et d'un système de vide, il permet de transporter la matière du silo jusqu'à la trémie d'alimentation de la ligne d'extrusion.

L' extrudeuse : c'est un ensemble constitué par une vis d'Archimède tournant à vitesse contrôlée à l'intérieur d'un cylindre chauffé. La matière est chauffée à une température d'environ 220°C. Cet ensemble a pour fonction :

- De « saisir » la matière et de la transporter par une vis sans fin du point d'alimentation jusqu'à la sortie ;
- Se « plastifier » et de « fondre » cette matière en cours de trajet par chauffage et malaxage entre la vis et le cylindre ;
- De la « forcer », enfin, à travers un outillage (filière – poinçon),

Les outils de conformation : ils permettent de calibrer la canalisation pour lui donner sa forme dans ses dimensions définitives, puis la refroidir. Cette opération se fait sous vide afin de maintenir les dimensions de la canalisation le temps de figer la matière par refroidissement.

Les bacs de refroidissement : ils permettent d'évacuer la chaleur accumulée et d'assurer une bonne cristallisation de la matière. Ce dernier point est très important afin de conférer à la canalisation polyéthylène toutes ses caractéristiques mécaniques.

Le système de marquage : ce système permet d'inscrire sur la canalisation des éléments d'information (diamètre, épaisseur, etc..) et de traçabilité (N° lot, date de fabrication, etc...). Trois systèmes de marquage sont aujourd'hui utilisés : marquage à chaud, marquage jet d'encre ou marquage laser.

La tireuse : cet équipement est essentiel car c'est lui qui définit la vitesse de fabrication de la ligne d'extrusion. La tireuse est asservie à l'extrudeuse afin d'assurer des caractéristiques dimensionnelles constantes pour la canalisation en cours de fabrication.

La scie : cet équipement permet de couper la canalisation à la longueur souhaitée. La scie est conçue pour éviter tout endommagement sur la canalisation.

CHAPITRE 3 : La stature de la maintenance préventive dans l'entreprise PLAST-AFRIQUE

L' enrouleur de tube : Cet équipement permet de conditionner la canalisation en couronne ou sur touret. Dans le cas de fabrication en barre droite, la canalisation est directement positionnée dans des palettes.



FIG 3.4 les différents étapes de fabrication des tube PEHD

5.5 Le recyclage :

La Société PLAST-AFRIQUE a le souci de limiter au maximum le gaspillage des matières premières ainsi que la production de grandes quantités de déchets. Les débuts et fins de fabrication, les produits non conformes sont systématiquement recyclés. Ils sont dans un premier temps broyés en petits copeaux puis ré-broyés jusqu'à l'obtention d'une poudre qui repartira en tête de production pour être inclus dans la matière première.

6. L'importance de la maintenance préventive dans l'industrie :

Le rôle principal d'un service maintenance est de maintenir les capacités opérationnelles des moyens de production, ainsi que leur valeur patrimoniale. Les capacités opérationnelles sont nécessaires pour servir une commande lorsque le client l'exige et non quand l'entreprise sera en mesure de la servir. la valeur patrimoniale peut s'envisager comme l'allongement de la durée de vie utile des machines et équipement, ce qui repousse ou annule la nécessité d'un nouvel investissement, ou facilite la revente des moyens dont l'entreprise souhaite se défaire.

Formulé ainsi, il apparait évident que ce rôle ne peut s'envisager que de manière dynamique et proactive car si l'on attend une panne pour réagir, la capacité opérationnelle n'est plus

CHAPITRE 3 : La stature de la maintenance préventive dans l'entreprise PLAST-AFRIQUE

maintenue et si l'on attend une dégradation pour réagir, la valeur patrimoniale est déjà amoindrie. [32]

Dans l'industrie un entretien adéquat des machines, des mécanismes et des systèmes électriques, ainsi que des dispositifs de commande est fondamental pour une performance optimale.

Tout au long de l'histoire, La maintenance industrielle a été effectuée uniquement en cas de panne des machines ou des appareils, faire partie de la gestion intégrale du processus de production en tant qu'élément à gérer au sein de tous les facteurs ou départements (production, coûts, évaluation des risques, etc.).

La maintenance industrielle préventive comprend différents éléments : systèmes électriques, machinerie industrielle, (stock, production, distribution, et transport) système du control, automatismes et outils pour la gestion informatisée (software).

Quelles sont les caractéristiques et les avantages d'une maintenance préventive dans l'industrie ?

- La maintenance industrielle doit être programmée.

Les travaux de maintenance doivent être planifiés et gérés au sein d'un programme d'actions spécifique dans lequel les interventions à effectuer, la périodicité et les mesures correctives sont clairement définies si des problèmes sont détectés.

- La maintenance préventive forme partie de la sécurité des appareils.

Un adéquat entretien des machines permet travailler avec une sécurité, minimisant la possibilité de pannes dangereuses. Le programme de la maintenance préventive, il doit être en partie intégré dans la gestion de la prévention des risques professionnels.

- Augmenter le rendement de production

L'un des objectifs de la maintenance préventive de l'industrie consiste à minimiser les défaillances pouvant entraîner l'arrêt de la production ou la sous-utilisations de certaines lignes de production. C'est l'un des objectifs de la maintenance préventive de l'industrie. La

CHAPITRE 3 : La stature de la maintenance préventive dans l'entreprise PLAST-AFRIQUE

disponibilité d'une installation pendant le temps de production est un point clé à contrôler pour une performance finale adéquate.

- Fiabilité du processus de production

La maintenance de n'importe quelle machine ou mécanisme de forme périodique permet augmenter la vie outil et la performance. Les révisions périodiques et la valorisation, analyse dans chaque période l'état de la machinerie permet : réduire le numéro des défauts graves et analyser les causes pour prévenir dans le futur (maintenance prédictive).

- La maintenance préventive permet d'identifier les points d'amélioration

Pendant les travaux de maintenance, vous pouvez identifier les points les plus critiques nécessitant une mise à jour ou une amélioration de la conception ou des matériaux, ainsi que les processus de la production nécessitant une attention particulière, etc.

Cela permet l'ajustement du planning et des points de contrôle de la maintenance préventive, autant pour augmenter son efficacité que pour obtenir une réduction des coûts de maintenance.

6.1 Causes d'échec :

Le premier service qui devra soutenir le projet de l'application de la maintenance

Préventive est la production Les causes probables emmenant à l'échec de la mise en place de la maintenance

Préventive sont les suivantes :

- La production ne sent pas le service rendu, n'accompagne pas la mise en place

Et ne libère pas la machine pour les interventions de maintenance préventive.

- Le plan de maintenance n'est pas bien adapté, c'est le « vouloir faire trop ».

- Les interventions sont très souvent ratées pour différentes raisons (problème de

Charge, machine non disponible...).

CHAPITRE 3 : La stature de la maintenance préventive dans l'entreprise PLAST-AFRIQUE

– Le manque de suivi ou l'absence de suite d'après les appréciations ou remarques

Rapportées par les intervenants.

– Le manque de compétence des intervenants.

6.2 Facteurs de réussite :

- **Motivation :**

Il faut tout d'abord obtenir l'accord de la Direction et la convaincre de la nécessité de la maintenance préventive, puis s'assurer de la bonne entente entre la maintenance et la production, entre les méthodes et les intervenants. Cela implique une motivation générale.

Dans la pratique, l'aspect routinier du préventif rend celui-ci peu attractif pour les exécutants. Il est essentiel qu'ils soient informés de la démarche rigoureuse de la maintenance préventive.

- **Amélioration permanente :**

Il est difficile d'avoir un plan de maintenance qui soit parfait dès le départ. Les critiques et constatations des intervenants sont très utiles et bienvenues. Le suivi, la prise en compte des remarques, la vérification sur place et l'analyse des retours d'appréciations permettent d'améliorer le plan de maintenance. Cette adaptation est permanente car il se peut que l'installation se modifie, le plan de maintenance lui aussi doit être modifié convenablement. Un plan de maintenance doit vivre et évoluer avec le vieillissement de la machine.

- **Maîtrise des charges :**

Le besoin en terme de main-d'œuvre pour réaliser le plan de maintenance est traduit en charge. Une charge est la résultante de deux éléments : effectif et durée.

L'unité utilisée pour exprimer une charge est l'homme-heure. La planification permet d'étaler la charge globale de la maintenance préventive sur une année.

Elle doit :

– assurer l'équilibre entre la charge de travail et la capacité de charge de la maintenance,

CHAPITRE 3 : La stature de la maintenance préventive dans l'entreprise PLAST-AFRIQUE

- prendre en compte les aspects aléatoires des estimations de temps et les imprévus ;
- faciliter la distribution du travail.

Il est évident que le point fort de la planification est dans la bonne estimation du temps et la bonne définition de moyens humains. Mais il ne s'agit pas seulement que les travaux soient bien planifiés, il faut aussi que les travaux soient bien préparés

Pour que la planification ait du succès.

6.3 Présentation du service maintenance dans PLAST-AFRIQUE :

Le service maintenance dans l'entreprise PLAST-AFRIQUE est constitué d'un petit groupe. Ce groupe, formé par deux techniciens spécialisés qu'ils sont responsable de la maintenance de plusieurs machines.

À l'exception des grandes machines compliqué dont la maintenance est sous-traitée par convention, au sein de l'entreprise. Ce service appartient au processus de support.

6.3.1 Maintenance préventive dans PLAST-AFRIQUE :

Dans l'entreprise PLAST-AFRIQUE la majorité de personelles sont des autodidactes, ils sont développés leur compétence par expérience.

Et concernant la maintenance préventive appliquée consiste en général des nettoyages, et le graissage des équipements. Il s'agit là d'une planification annuelle.

Le déplacement des machines n'a pas besoin de véhicules puisque l'enceinte n'est pas aussi vaste. On peut utiliser des chariots s'il s'agit d'un élément lourd d'une machine nécessite d'être transporté à l'atelier de maintenance pour sa réparation, mais là plus part des pannes sont réparées sur cite.

7. Défaits des machines électromécanique tournantes :

Une défaillance de machine électromécanique représente tout incident donnant lieu à un comportement anormal de la machine et qui peut à court ou long terme provoquer son endommagement. Les raisons de défaillances dans les machines tournantes électriques ont

CHAPITRE 3 : La stature de la maintenance préventive dans l'entreprise PLAST-AFRIQUE

leur origine dans la conception, la tolérance de fabrication, l'assemblage, l'installation, l'environnement de travail, nature de la charge et le calendrier de maintenance.

Le technicien de PLAST-AFRIQUE qui résume quelques défauts qui existent dans les machines électromécaniques selon leurs origines est présentée dans le Tableau :

Tableau 3.2 Classification des quelques défauts selon leurs origines

Défaillances des machines électromécanique	Interne	Mécanique	Contact entre le stator et rotor
			Défaut de roulements
			Excentricité
			Mouvement des enroulements et des tôles
		électrique	Défaillance au niveau de l'isolation
			Rupture de barre
	externe	Mécanique	Défaillance au niveau du circuit magnétique
			Charge oscillante
			Surcharge de la machine
		Environnementale	Défaut de montage
			Humidité
			Température
		électrique	Propreté
			Fluctuation de la tension
			Sources de tensions déséquilibrées
Réseau bruité			

Au cours de notre stage dans SARL PLAST-AFRIQUE nous avons vu quelques défaillances dans une machine de fabrication des tubes PE.



FIG 3.5 une machine de fabrication des tubes PE

CHAPITRE 3 : La stature de la maintenance préventive dans l'entreprise PLAST-AFRIQUE

Défauts de roulements :

Comme il est indiqué sur la (Figure 3.6), la majorité des défauts dans les machines électriques concernent les défauts de roulements qui ont de nombreuses causes telles que l'écaillage de fatigue, la contamination du lubrifiant, une charge excessive ou des causes électriques comme la circulation de courants de fuite induits par les onduleurs

Les défauts de roulements entraînent de manière générale plusieurs effets mécaniques dans les machines tels qu'une augmentation du niveau sonore et l'apparition de vibrations par les déplacements du rotor autour de l'axe longitudinal de la machine. Ce type de défaut induit également des variations (oscillations) dans le couple de charge de la machine asynchrone. Le point ultime de roulements défectueux est le blocage du rotor.

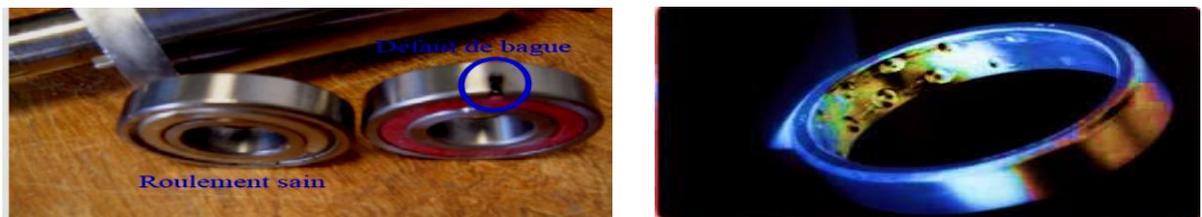


FIG 3.6 Défaut sur la bague intérieure et extérieure de l'arbre de la machine de PE



FIG 3.7 Dégradation du bien et durée de vie

8. Conclusion :

Après avoir des généralités sur l'entreprise PLAST-AFRIQUE procéder à une analyse fonctionnelle de l'installation puis des systèmes, et à la récolte et le dépouillement des données du retour d'expérience disponible autour d'un groupe réduit d'équipements dont le potentiel d'amélioration de la fiabilité et de la production en général est important, et ont vu la valeur et l'importance de la maintenance préventive dans l'entreprise.

CHAPITRE 3 : La stature de la maintenance préventive dans l'entreprise PLAST-AFRIQUE

Et en remarque que SARL PLAST-AFRIQUE ne donne pas une grande importance à la maintenance préventive et utilise que la maintenance corrective.

Et à partir de ces données dont le traitement se fera au moyen d'outils d'analyse et de visualisation adaptés à notre étude, et qui se fera durant les chapitres qui suit.

Chapitre 4

*Évaluation de la FMD des
équipements industriels*

CHAPITRE 4 : Évaluation de la FMD des équipements industriels

CHAPITRE 4 : Évaluation de la FMD des équipements industriels

1. Introduction :

La maintenance industrielle, qui a pour but d'assurer le bon fonctionnement des outils de production, est une fonction stratégique dans les entreprises. Intimement liée au continuel développement technologique, à l'apparition de nouvelles méthodes et organisations, à la nécessité de réduire les coûts de production, elle est en constante évolution. Elle n'a plus aujourd'hui comme seul objectif de réparer les pannes mais aussi de prévoir et d'éviter les dysfonctionnements.

Dans ce chapitre, Nous présenterons une étude théorique d'évolution sur le concept FMD en se basant sur les lois et les méthodes utilisées dans le domaine des équipements industriels.

2. Fiabilité :

2.1 Fiabilité d'un système :

Un système peut être défini comme un ensemble de composants interdépendants, conçus pour réaliser une fonction donnée, dans des conditions données et dans un intervalle de temps donné, pour chaque système, il importe de définir clairement les éléments qui le caractérisent, à savoir, la fonction, la structure, les conditions de fonctionnement, les conditions d'exploitation, et l'environnement dans lequel il est appelé à opérer. [33]

2.2 Définition :

La fiabilité est l'aptitude d'une entité à accomplir les fonctions requises dans des conditions données pendant une durée donnée. Elle est caractérisée par la probabilité $R(t)$ que l'entité E accomplisse ces fonctions, dans les conditions données pendant l'intervalle de temps $[0 ; t]$, sachant que l'entité n'est pas en panne à l'instant 0.

$$R(t) = \text{Prob} \{E \text{ non défaillante sur } [0 ; t]\}. [34]$$

Définition selon la NF X 06-501 : 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 de temps déterminée.

2.3 Objectifs de la fiabilité :

La fiabilité a pour objectif de :

- Mesurer une garantie dans le temps
- Evaluer rigoureusement un degré de confiance
- Déchiffrer une durée de vie
- Evaluer avec précision un temps de fonctionnement
- Déterminer la stratégie de l'entretien
- Choisir le stock

2.4 Principales lois de probabilité utilisées en fiabilité :

Dans les études de fiabilité des différents équipements, une variable aléatoire continue ou discrète peut être distribuée suivant diverses lois qui sont principalement :

- La loi normale
- La loi log-normale
- La loi binomiale
- La loi de POISSON ou loi de faibles probabilités
- La loi exponentielle et La loi de WEIBULL [34]

2.5 Paramètres nécessaires à la mesure de fiabilité :

2.5.1 Durée de vie :

La durée de vie d'un système est la période qui sépare sa mise en exploitation de l'apparition de sa défaillance. On mesurera 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 état pour opérer ou hors d'usage.

La durée de vie de l'équipement sera supposée être une variable aléatoire continue notée T dont la loi de probabilité devrait être estimée à travers ses réalisations $\{t_i\}_{i=1, \dots, n}$ constituant un historique des données des durées de vie [35].

CHAPITRE 4 : Évaluation de la FMD des équipements industriels

2.5.2 Densité de probabilité :

La densité de probabilité de l'instant de la défaillance T s'obtient en dérivant la fonction de

$$\text{répartition } F(t) : f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = - \frac{dR(t)}{dt} \quad [36]$$

2.5.3 Fonction de répartition :

C'est la probabilité pour que le dispositif soit en panne à l'instant t_i $F(t_i) = P_r(T < T_i)$ Notons que ces deux fonctions sont complémentaires : $F(t)+R(t)=1$ [36].

2.5.4 La fonction de fiabilité :

Nous appelons $R(t)$ la fonction de fiabilité, qui représente la probabilité de fonctionnement sans défaillances pendant un temps (t) , ou la probabilité de survie jusqu'à un temps (t) .

La probabilité d'avoir au moins une défaillance avant le temps (t) , qui représente la probabilité cumulative des défaillances, est appelé : « probabilité de défaillance ». [37.38].

2.5.5 Taux de défaillance :

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

$$\text{égale à : } \lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{1}{\text{MTBF}}$$

Avec $\lambda(t)$ taux de défaillance de la pièce d'âge t .

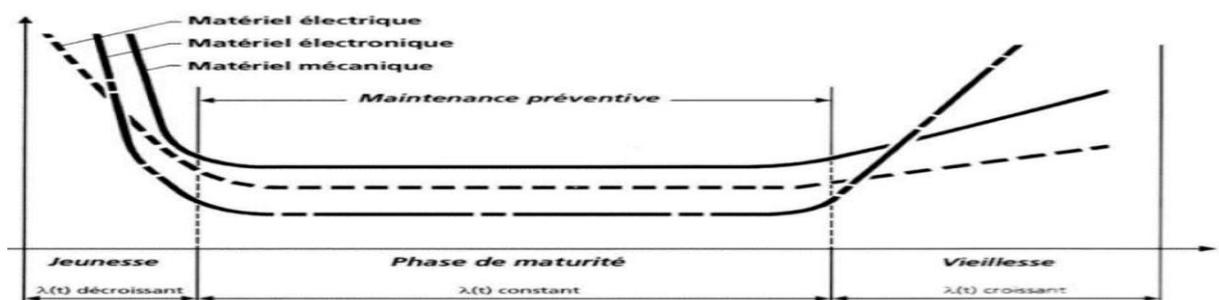


FIG 4.1 Courbe en baignoire du taux de défaillance

CHAPITRE 4 : Évaluation de la FMD des équipements industriels

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 (pleine activité).

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

- Zone (3). Période de vieillesse 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 [39].

2.5.6 Le MTTF :

Un autre indicateur de fiabilité est le MTTF (de l'anglais, Mean Time To Failure) qui représente une estimation du temps moyen de fonctionnement avant la première défaillance, ce temps a un rôle important en fiabilité, il est souvent pris comme un indicateur permettant la comparaison des fiabilités des systèmes fournis par un constructeur [40,41]. Il est défini par :

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

Le MTTF est calculé par la surface délimitée par $R(t)$.

2.5.7 Le MTBF :

Si nous analysons ce cycle, nous remarquons qu'il est composé de la moyenne de temps de bon fonctionnement (MTBF). Cette moyenne est définie comme la durée moyenne entre deux défaillances (Mean time between failure) (figure 3.2). L'expression du MTBF est donnée par [42].

$$MTBF = MDT + MUT$$

CHAPITRE 4 : Évaluation de la FMD des équipements industriels

$$MTBF = \frac{\sum \text{temps de bon fonctionnement}}{\text{nombre d'intervalles de temps de bon fonctionnement}}$$

$$MTBF = \int_0^{+\infty} R(t) dt$$

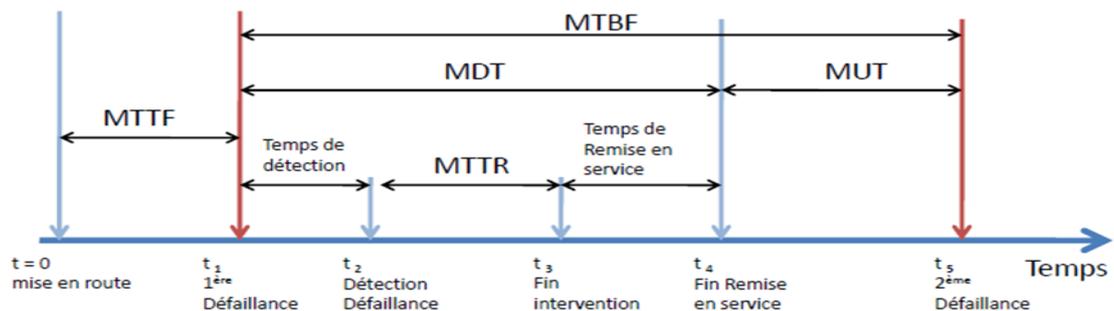


FIG 4.2 La présentation des différentes grandeurs en fonction du temps

- **MTTF** (mean time to [first] failure) : moyenne des temps avant la 1^{ère} défaillance
- **MTBF** (mean time between failures) : moyenne des temps entre 2 défaillances consécutives
- **MDT** (mean down time) : appelé encore MTI, c'est le temps moyen d'indisponibilité ou temps moyen d'arrêt propre
- **MUT** (mean up time) : temps moyen de disponibilité
- **MTTR** (mean time to repair) : temps moyen de réparation [43]

2.6 Loi de Weibull [44] :

La loi de Weibull est utilisée en fiabilité, en particulier dans le domaine de la mécanique.

Cette loi a l'avantage d'être très souple et de pouvoir s'ajuster à différents résultats d'expérimentations.

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

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

CHAPITRE 4 : Évaluation de la FMD des équipements industriels

- ✓ Le paramètre d'échelle η qui, comme son nom l'indique, nous renseigne sur l'étendue de la distribution ;
- ✓ Le paramètre de forme β qui est associé à la cinétique du processus observé

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

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

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

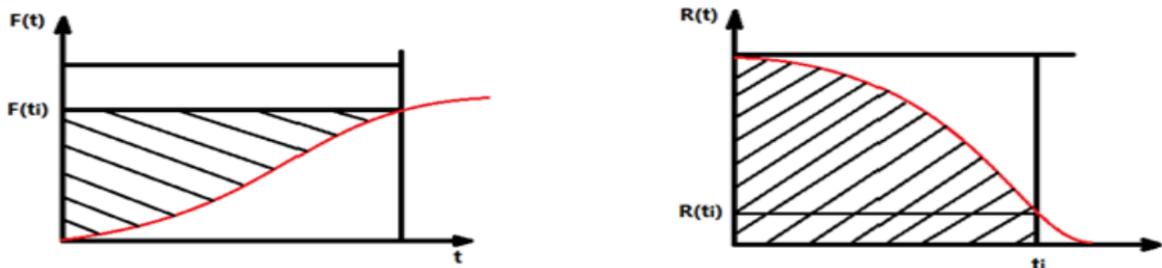


FIG 4.3 Courbe de fiabilité et fonction de répartition

d. Taux de défaillance : $\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}$

2.6.1 Signification des paramètres du modèle de Weibull :

a. Paramètres de forme β :

C'est un nombre sans dimensions, il définit l'allure de la distribution des durées. Il permet d'adapter la forme de la courbe $f(t)$, $R(t)$ et $\lambda(t)$

La distribution de Weibull permet donc de représenter les trois périodes de la vie d'un dispositif (courbe de baignoire). (Figure3.5)

Soit décroissant ($\beta < 1$), Correspond à la zone décroissante de la courbe, c'est la période de mise en place dérodage de l'installation (période de jeunesse).

Soit constant ($\beta = 1$), Correspond à la zone où le taux de défaillance est pratiquement constant, c'est la période de défaillance aléatoire qui ne présente généralement avec un symptôme de dégradation préalable (vie utile). C'est la période la plus longue

CHAPITRE 4 : Évaluation de la FMD des équipements industriels

Soit croissant ($\beta > 1$), Correspondre à la zone croissante rapide, c'est la période de vieillesse provoqué par l'usure mécanique.

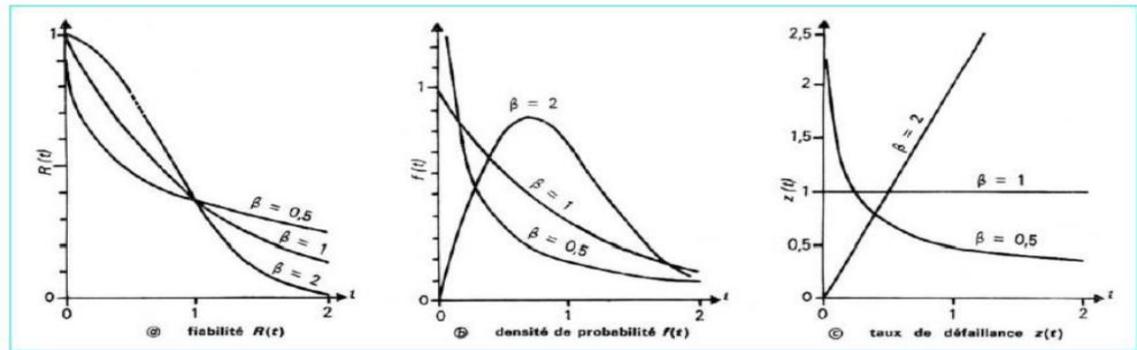


Figure 11 - Principales propriétés de la distribution de Weibull

FIG 4.4 formes de $f(t)$, $R(t)$, $\lambda(t)$ en fonction de β

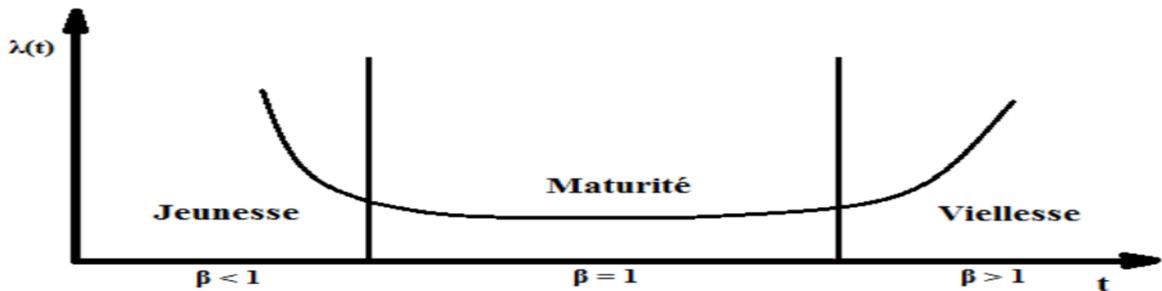


FIG 4.5 Courbe en baignoire en fonction de β

b. Paramétré d'échelle η :

En unité qui est associée à l'échelle utilisé sur le graphe d'allions plait.

c. Paramétré de position γ :

Il permet de déterminer la date du début de la défaillance ; son unité est celle du temps :

Si :

$\gamma < 0$: les défaillances ont débuté avant l'origine du temps ;

$\gamma = 0$: les défaillances ont débuté dès l'origine du temps ;

$\gamma > 0$: il y a une survie totale entre $t=0$ et $t=\gamma$.

CHAPITRE 4 : Évaluation de la FMD des équipements industriels

2.6.2 Application à la fiabilité :

Préparation des données :

- 1) Calcul des Temps de bon fonctionnement
- 2) Classement des temps de bon fonctionnement en ordre croissant
- 3) N = nombre de Temps de bon fonctionnement
- 4) Recherche des données $F(i)$, $F(i)$ représente la probabilité de panne au temps correspondant au Temps de bon fonctionnement de l' i ème défaillant.

On a 3 cas différents :

- Si $N > 50$, regroupement des Temps de bon fonctionnement par classes avec la fréquence cumulée : $F(i) = \frac{N_i}{N} = \frac{\sum R_i}{N} \approx F(t)$
- Si $20 < N < 50$, On affecte un rang "Ni" à chaque défaillance (approximation des rangs Moyens) : $F(i) = \frac{N_i}{N+1} \approx F(t)$
- Si $N < 20$, On affecte un rang "Ni" à chaque défaillance (approximation des rangs médians) : $F(i) = \frac{N_i - 0.3}{N + 0.4} \approx F(t)$ [44]

2.7 Test de KOLMOGOROV-SMIRNOV :

Au une restriction n'est nécessaire, quel que soit la taille (n) on peut l'appliquer. L'idée du test est de comparer la fonction réelle de répartition des défaillances à la fonction de répartition théorique. Il consiste à mesurer l'écart point par point entre ces deux fonctions :

$$D_{n_{Max}} = |F(i) - F(t)|$$

Où : $F(t)$ est la fonction de répartition réelle ; elle peut être obtenue par la méthode des rangs moyens :

Suit une loi ne dépendant que de η , et on écrit que : $P(\text{Max } |F(i) - F(t)| < Dn_\alpha) = 1 - \alpha$

Si $D_{n_{Max}} > Dn_\alpha$ on refuse l'hypothèse du modèle théorique.

CHAPITRE 4 : Évaluation de la FMD des équipements industriels

Si $D_{n_{Max}} < Dn_{\alpha}$ on accepte l'hypothèse du modèle théorique.

N.B : la valeur de Dn_{α} est donnée par la table de Kolmogorov-Smirnov.

N.B : La démarche pour calculer MTBF et les paramètres γ, η, β par le modèle de Weibull, Cumuler les avaries ni. [34]

2.8 Facteurs ayant des répercussions sur la fiabilité :

- Les facteurs intrinsèques, susceptibles d'affecter les caractéristiques du produit, peuvent avoir pour cause : Matériaux, Main d'œuvre et Méthodes et Machines.
- Les facteurs extrinsèques sont issus du domaine Milieu/Environnement. [46]

1) Causes dues aux Matériaux :

Les fournisseurs de matières premières ne peuvent garantir que leur production garde constamment le même niveau de qualité. Ainsi, il est possible de trouver des variations dans les caractéristiques d'un même matériau, constituant un même produit ou plusieurs produits d'une même gamme. Comme les propriétés des matériaux sont fortement liées à la tenue du produit, il est nécessaire de pouvoir en vérifier la qualité. Pour des raisons de coûts, il est très difficile de garantir la valeur de tous les paramètres caractérisant un matériau.

2) Causes dues à la Main d'œuvre :

Toute conception est le résultat d'une réflexion humaine. À ce titre, un grand nombre de défaillances est d'origine humaine, qu'il s'agisse de négligence, d'ignorance, ou de baisse de vigilance, ou de force.

3) Causes dues au Milieu/Environnement :

Par définition, la fiabilité est établie dans des conditions d'utilisations données. Ainsi, le produit doit respecter les spécifications du cahier des charges. Cependant, selon l'utilisateur, il peut être soumis à des conditions qui dépassent le cadre prévu initialement. On peut citer les effets de la température. Parmi l'ensemble des conditions environnementales, la température affecte les propriétés des matériaux (d'autres effets environnementaux comme la corrosion pourraient être inclus dans cette section de la même manière). Pour certains matériaux, la limite d'élasticité et

CHAPITRE 4 : Évaluation de la FMD des équipements industriels

la résistance à la traction diminuent lorsque la température s'élève, de même que la limite d'endurance qui leur est proportionnelle.

3. Maintenabilité :

3.1 Définition :

Selon la norme AFNOR X60-010, la maintenabilité définit comme suit: « dans des conditions données d'utilisation, aptitude d'un dispositif à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il peut accomplir sa fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits » Il est possible de donner à la maintenabilité une définition probabiliste : « si la probabilité de rétablir un système dans des conditions de fonctionnement spécifiées, en des limites de temps désirées, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions avec des moyens prescrits ». La maintenabilité dépend essentiellement de l'accessibilité, de la facilité de démontage et de remontage des éléments constitutifs et de leur interchangeabilité d'un équipement. L'indicateur essentiel de la maintenabilité d'un équipement est la MTTR (Mean Time To Repair) traduite par la (Moyenne des Temps Techniques de Réparation), la maintenabilité concerne donc les responsables de maintenance ou même titre que la fiabilité, tant pour le choix d'équipements nouveaux que pour l'amélioration éventuelle l'équipement existant. [47]

- La maintenabilité caractérise la facilité de remettre ou de maintenir un bien en bon état de fonctionnement. $M(t) = 1 - e^{-\mu t}$ [48].
- La maintenabilité est caractérisée par la moyenne des temps techniques de réparation.

$$MTTR = \frac{\sum \text{temps d'intervention pour } (n) \text{ pannes}}{\text{nombre de pannes } (n)}$$

3.2 Taux de réparation μ :

La probabilité de réparation d'un composant est principalement fonction du temps écoulé depuis l'instant de défaillance. Il existe un certain délai t avant que le composant puisse être réparé. Ce délai t comprend le temps de détection et le temps d'attente de l'équipe de réparation. [48]

$$\mu = \frac{1}{MTTR}$$

CHAPITRE 4 : Évaluation de la FMD des équipements industriels

La probabilité de réparation d'un composant est principalement fonction du temps écoulé depuis l'instant de défaillance. Il existe un certain délai t avant que le composant puisse être réparé. Ce délai t comprend le temps de détection et le temps d'attente de l'équipe de réparation.

3.3 Amélioration de la maintenabilité :

L'amélioration de la maintenabilité passe par :

- Le développement des documents d'aide à l'intervention,
- L'aptitude de la machine au démontage (modification, risquant de coûter chère).
- L'accessibilité.
- La standardisation.
- La facilité de remplacement.
- L'aide au diagnostic.

Il assurera de ce fait la réduction des durées de détection des pannes d'état, diminuant, ainsi les TTR l'amélioration de la maintenabilité d'une manière considérable.

La maintenance doit améliorer la maintenabilité par les actions suivantes :

- 1) Disponibilité de la documentation tenue à jour du matériel.
- 2) Utilisation des systèmes d'aide au diagnostic
- 3) Utilisation des capteurs intégrés pour la localisation de la panne
- 4) Disponibilité des accessoires outillages [49]

4. La Disponibilité :

4.1 Définition :

Selon la norme AFNOR X60 – 500, on peut définir la disponibilité comme aptitude d'une entité à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou pendant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires de maintenance soit assurée ».

Pour qu'un équipement présente une bonne disponibilité, il doit :

- Avoir le moins possible d'arrêts de production,
- Être rapidement remis en état s'il est défaillant.

CHAPITRE 4 : Évaluation de la FMD des équipements industriels

La disponibilité relie donc les notions de fiabilité et de maintenabilité. [48]

4.2 Les type de disponibilité :

4.2.1 Disponibilité intrinsèque :

Cette disponibilité est évaluée en prenant en compte les moyennes de bon fonctionnement et les moyennes de réparation, ce qui donne : $D_i = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR}$

4.2.2 Disponibilité instantanée :

Pour un système avec l'hypothèse d'un taux de défaillance λ constante et d'un taux de réparation μ constant, la disponibilité instantanée est : $D(t) = \frac{\mu}{\lambda+\mu} + \frac{\lambda}{\lambda+\mu} e^{-t(\lambda+\mu)}$ [48].

4.3 Amélioration de la disponibilité :

- L'allongement de la MTBF (action sur la fiabilité).
- La réduction de la MTTR (action sur la maintenabilité).



FIG 4.6 La relation entre les notions FMD

Pour qu'un matériel soit disponible il faut s'assurer que sa fiabilité est optimum et qu'il est aussi maintenable.

5. Conclusion :

La maintenance est une fonction essentielle de l'entreprise ; ses objectifs vont au-delà de remettre en état l'outil de travail, mais surtout d'anticiper des événements qui interviennent dans

CHAPITRE 4 : Évaluation de la FMD des équipements industriels

un environnement d'incertitudes, et de contribuer à la performance globale du système de production.

Dans ce chapitre, nous avons vu les différentes méthodes de calcul pour évaluer la fiabilité, la fonction de répartition et le taux de défaillance ainsi que les tests de vérification de ces méthodes.

On a aussi défini et modélisé la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité pour faciliter les calculs dans le chapitre suivant.

Chapitre 5

*Analyse FMD résultat et
discussions*

Chapitre 5 : Analyse FMD des équipements résultat et discussions

Chapitre 5 : Analyse FMD des équipements résultat et discussions

1. Introduction :

L'analyse FMD c'est la méthode la plus efficace dans l'industrie pour évaluer l'état d'une machine ou un ensemble des machines par les trois indicateurs (fiabilité, maintenabilité, disponibilité) afin d'arriver à clarifier l'importance de la maintenance préventive, et pour atteindre l'objectif on a choisi l'historique de l'année 2020 de la machine de fabrication des tubes PE pour que notre étude doit être utile pour notre thème et pour l'entreprise.

2. Historique des pannes :

D'après l'historique des pannes d'une année (2020) de la machine choisie (la machine de fabrication des tubes PE), on résume les dates et les temps de début et de fin des défaillances dans le tableau 5.1 :

Tableau 5.1 L'historique des pannes de la machine de fabrication des tubes PE

N°	début de la défaillance	fin de la défaillance	CAUSE D'ARRET
1	5/1/20 9:40 AM	5/1/20 10:50 AM	changement capteur fin de (position) et fusible
2	12/1/20 11:10 AM	12/1/20 11:40 AM	Changement galet
3	1/2/20 2:30 PM	1/2/20 4:30 PM	Changement d'aspirateur flux
4	8/2/20 4:05 PM	8/2/20 5:35 PM	Changement poulie guidage bande
5	26/2/20 11:40 AM	26/2/20 3:50 PM	Changement de roulement du moteur de l'axe x
6	2/3/20 3:10 PM	2/3/20 3:45 PM	Changement de Relie de vitesse
7	9/3/20 9:20 AM	9/3/20 9:50 AM	changement contacteur
8	14/3/20 5:50 PM	14/3/20 6:50 PM	CHANGEMENT TOURTEAU
9	22/3/20 12:30 PM	22/3/20 5:20 PM	réglage de la précision de circuit hydraulique
10	5/5/20 2:15 PM	5/5/20 3:25 PM	Réparation d'aspirateur et changement courroie
11	17/5/20 4:30 PM	17/5/20 5:00 PM	changement disjoncteur moteur
12	21/5/20 8:45 AM	21/5/20 9:25 AM	Serrage flasque
13	22/5/20 4:20 PM	22/5/20 4:45 PM	Changement galet d'appui
14	30/5/20 10:00 AM	30/5/20 10:20 AM	Changement des deux courroies
15	1/6/20 6:05 PM	1/6/20 6:25 PM	Changement courroie d'aspirateur
16	8/6/20 8:30 AM	8/6/20 9:30 AM	changement pignon de couteau
17	14/6/20 10:00 AM	14/6/20 2:00 PM	changement roulement tapis
18	6/8/20 3:20 PM	6/8/20 3:50 PM	Réglage manette et changement bague
19	10/8/20 7:30 AM	10/8/20 8:20 AM	changement filtre tête démontage rpg filière
20	11/8/20 11:50 AM	11/8/20 1:00 PM	changement commutateur
21	22/8/20 9:00 AM	22/8/20 12:10 PM	changement profil
22	1/9/20 3:30 PM	1/9/20 5:30 PM	Changement vérin guidage bande

Chapitre 5 : Analyse FMD des équipements résultat et discussions

23	14/9/20 10:05 AM	14/9/20 8:05 PM	Défaut sur minuterie (commande logique)
24	1/10/20 7:00 AM	1/10/20 8:00 AM	Montage tourteau
25	1/10/20 6:30 PM	1/10/20 7:00 PM	changement contacteur
26	15/10/20 11:15 AM	16/10/20 2:15 AM	endommagement du moteur sous traitance
27	17/10/20 3:30 PM	17/10/20 4:15 PM	Changement vérin guidage bande
28	18/10/20 1:10 PM	18/10/20 2:10 PM	Soudage flasque dévidoir
29	22/10/20 10:40 AM	22/10/20 12:10 PM	Changement galet d'entrée
30	30/10/20 4:50 PM	30/10/20 5:05 PM	une panne dans électrovanne
31	1/11/20 9:20 AM	1/11/20 9:50 AM	Montage tourteau
32	13/11/20 5:30 PM	13/11/20 6:30 PM	changement valve proportionnel
33	14/11/20 11:00 AM	14/11/20 12:00 PM	une panne dans flexible
34	22/11/20 7:10 AM	22/11/20 8:40 AM	Changement galet denrée
35	7/12/20 2:05 PM	7/12/20 3:05 PM	panne dans vérin pneu (réparation)
36	8/12/20 10:15 AM	8/12/20 12:00 PM	Changement tige fileté entre dévidoir
37	12/12/20 10:50 AM	12/12/20 4:50 PM	Détection de fuite et élimination par soudure
38	28/12/20 3:55 PM	28/12/20 4:25 PM	Alignement et fixation motoréducteur

Et pour être l'historique utile il faut traiter et calculer les TBF et TTR de chaque défaillance

Tableau 5.2 Historique des défaillances et calcule des TTR et TBF

N°	début de la défaillance	fin de la défaillance	TTR(heure)	TBF(heure)
1	5/1/20 9:40 AM	5/1/20 10:50 AM	1,17	169,5
2	12/1/20 11:10 AM	12/1/20 11:40 AM	0,50	483,3
3	1/2/20 2:30 PM	1/2/20 4:30 PM	2,00	169,6
4	8/2/20 4:05 PM	8/2/20 5:35 PM	1,50	427,6
5	26/2/20 11:40 AM	26/2/20 3:50 PM	4,17	123,5
6	2/3/20 3:10 PM	2/3/20 3:45 PM	0,58	162,2
7	9/3/20 9:20 AM	9/3/20 9:50 AM	0,50	128,5
8	14/3/20 5:50 PM	14/3/20 6:50 PM	1,00	186,7
9	22/3/20 12:30 PM	22/3/20 5:20 PM	4,83	1057,7
10	5/5/20 2:15 PM	5/5/20 3:25 PM	1,17	290,3
11	17/5/20 4:30 PM	17/5/20 5:00 PM	0,50	88,3
12	21/5/20 8:45 AM	21/5/20 9:25 AM	0,67	31,6
13	22/5/20 4:20 PM	22/5/20 4:45 PM	0,42	185,7
14	30/5/20 10:00 AM	30/5/20 10:20 AM	0,33	56,1
15	1/6/20 6:05 PM	1/6/20 6:25 PM	0,33	158,4
16	8/6/20 8:30 AM	8/6/20 9:30 AM	1,00	145,5
17	14/6/20 10:00 AM	14/6/20 2:00 PM	4,00	1277,3
18	6/8/20 3:20 PM	6/8/20 3:50 PM	0,50	88,2
19	10/8/20 7:30 AM	10/8/20 8:20 AM	0,83	28,3
20	11/8/20 11:50 AM	11/8/20 1:00 PM	1,17	261,2
21	22/8/20 9:00 AM	22/8/20 12:10 PM	3,17	246,5

Chapitre 5 : Analyse FMD des équipements résultat et discussions

22	1/9/20 3:30 PM	1/9/20 5:30 PM	2,00	306,6
23	14/9/20 10:05 AM	14/9/20 8:05 PM	10,00	404,9
24	1/10/20 7:00 AM	1/10/20 8:00 AM	1,00	11,5
25	1/10/20 6:30 PM	1/10/20 7:00 PM	0,50	328,7
26	15/10/20 11:15 AM	16/10/20 2:15 AM	15,00	52,3
27	17/10/20 3:30 PM	17/10/20 4:15 PM	0,75	21,7
28	18/10/20 1:10 PM	18/10/20 2:10 PM	1,00	93,5
29	22/10/20 10:40 AM	22/10/20 12:10 PM	1,50	198,2
30	30/10/20 4:50 PM	30/10/20 5:05 PM	0,25	40,5
31	1/11/20 9:20 AM	1/11/20 9:50 AM	0,50	296,2
32	13/11/20 5:30 PM	13/11/20 6:30 PM	1,00	17,5
33	14/11/20 11:00 AM	14/11/20 12:00 PM	1,00	188,2
34	22/11/20 7:10 AM	22/11/20 8:40 AM	1,50	366,9
35	7/12/20 2:05 PM	7/12/20 3:05 PM	1,00	20,2
36	8/12/20 10:15 AM	8/12/20 12:00 PM	1,75	96,6
37	12/12/20 10:50 AM	12/12/20 4:50 PM	6,00	389,1
38	28/12/20 3:55 PM	28/12/20 4:25 PM	0,50	79,9

L'application numérique :

- ❖ $TBF = ([\text{Date ET heure de début de } (N_{eme+1}) \text{ défaillance}] - [\text{Date ET heure de début de } (N_{eme}) \text{ défaillance}]) * 24$
- ❖ $TTR = ([\text{Date ET heure de fin défaillance}] - [\text{Date ET heure de début défaillance}]) * 24$

EX:

$$TBF1 = 12/1/20 11 :10 AM - 5/1/20 9 :40 AM = 169,5 \text{ h}$$

$$TTR1 = 5/1/20 9:40 AM - 5/1/20 10:50 AM = 1,17 \text{ h}$$

3. L'analyse de la fiabilité :

3.1 Application du modèle de weibull :

On a $N=38$. Dans notre cas ($20 < N < 50$)

Donc on utilise la méthode des ranges moyens $F(ti) = \frac{\sum N_i}{N+1}$

Pour on peut utiliser le papier de weibull à cause de déterminer graphiquement les paramètre (β, η, γ).

Chapitre 5 : Analyse FMD des équipements résultat et discussions

Tableau 5.3 les Valeurs de fonction réelle F(ti)

Rang	TBF (croissent) (heure)	N	$\sum N_i$	$F(ti) = \frac{\sum N_i}{N+1}$	F(ti)%
1	11,50	1	1	0,025641026	2,56
2	17,50	1	2	0,051282051	5,13
3	20,17	1	3	0,076923077	7,69
4	21,67	1	4	0,102564103	10,26
5	28,33	1	5	0,128205128	12,82
6	31,58	1	6	0,153846154	15,38
7	40,50	1	7	0,179487179	17,95
8	52,25	1	8	0,205128205	20,51
9	56,08	1	9	0,230769231	23,08
10	79,92	1	10	0,256410256	25,64
11	88,17	1	11	0,282051282	28,21
12	88,25	1	12	0,307692308	30,77
13	93,50	1	13	0,333333333	33,33
14	96,58	1	14	0,358974359	35,90
15	99,50	1	15	0,384615385	38,46
16	128,50	1	16	0,410256410	41,03
17	145,50	1	17	0,435897436	43,59
18	158,42	1	18	0,461538462	46,15
19	162,17	1	19	0,487179487	48,72
20	169,50	1	20	0,512820513	51,28
21	169,58	1	21	0,538461538	53,85
22	185,67	1	22	0,564102564	56,41
23	186,67	1	23	0,589743590	58,97
24	188,17	1	24	0,615384615	61,54
25	198,17	1	25	0,641025641	64,10
26	246,50	1	26	0,666666667	66,67
27	261,17	1	27	0,692307692	69,23
28	290,25	1	28	0,717948718	71,79
29	296,17	1	29	0,743589744	74,36
30	306,58	1	30	0,769230769	76,92
31	328,75	1	31	0,794871795	79,49
32	366,92	1	32	0,820512821	82,05
33	389,08	1	33	0,846153846	84,62
34	404,92	1	34	0,871794872	87,18
35	427,58	1	35	0,897435897	89,74
36	483,33	1	36	0,923076923	92,31
37	1057,75	1	37	0,948717949	94,87
38	1277,33	1	38	0,974358974	97,44

Chapitre 5 : Analyse FMD des équipements résultat et discussions

A partir de la méthode graphique, on utilise un papier de weibull, on schématisera $F(t)$ on fonction de TBF (voir le tableau 5.3). On obtenu un nuage des points

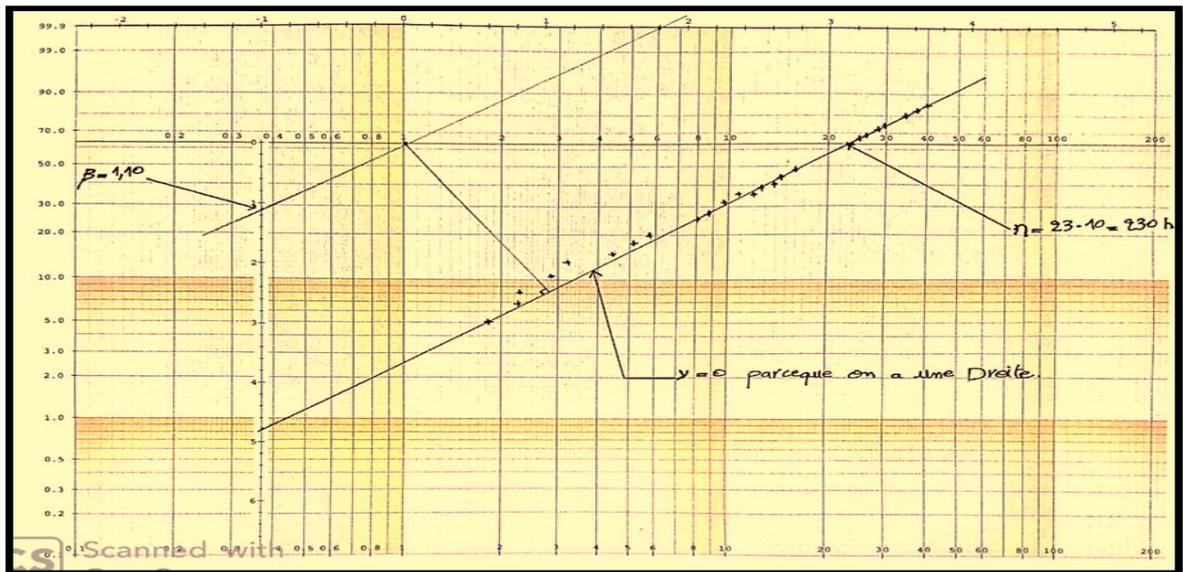


FIG 5.1 le nuage des points de weibull(la courbe de weibull)

On remarque le nuage forme une droite qui passe par la majorité des points

3.2 Les trois paramètres de weibull :

On déduire les valeurs des paramètres β , γ , η .

On a : $\gamma = 0$ parce que on a une droite.

Tableau 5.4 les paramètres de weibull

Paramètre	valeur
β	1.10
γ	0
η	230(h)

3.3 Test de Kolmogorov Smirnov :

Avant de confirmer la justesse de ces résultats il est nécessaire de tester l'hypothèse pour savoir si nous devons accepter ou rejeter le modèle proposé.

Chapitre 5 : Analyse FMD des équipements résultat et discussions

Il consiste à mesurer l'écart point par point entre ces deux fonctions :

$$D_{ni} = |F(t_i) - F(t)|$$

$F(t)$ est la fonction de répartition réelle ; elle peut être obtenue par la méthode des range moyens :

- $F(t_i) = \frac{\sum N_i}{N+1}$
- $F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$

Suit une loi ne dépendant que de η , et on écrit que :

$$P(\text{Max } |F(t_i) - F(t)| < Dn_\alpha) = 1 - \alpha$$

Si $Dn_m > Dn_\alpha$ on refuse l'hypothèse du modèle théorique.

Si $Dn_m < Dn_\alpha$ on accepte l'hypothèse du modèle théorique.

La valeur de Dn_α est donnée par le tableau de K-S (voir l'annexe 1).

Le tableau ci-dessous donne la différence entre la fonction de répartition réelle et théorique. On calcul avec les formules suivantes pour remplir le tableau :

Tableau 5.5 La valeur différence entre la fonction de répartition réelle et théorique

Range	TBF(heure)	F(ti)théorie	F(t) réelle	D_{ni}
1	11,50	0,025641	0,036379	0,010738
2	17,50	0,051282	0,057113	0,005831
3	20,17	0,076923	0,066440	0,010483
4	21,67	0,102564	0,071695	0,030869
5	28,33	0,128205	0,095073	0,033132
6	31,58	0,153846	0,106472	0,047374
7	40,50	0,179487	0,137580	0,041907
8	52,25	0,205128	0,177891	0,027238
9	56,08	0,230769	0,190819	0,039950
10	79,92	0,256410	0,268474	0,012064
11	88,17	0,282051	0,294112	0,012061
12	88,25	0,307692	0,294358	0,013335
13	93,50	0,333333	0,310321	0,023013
14	96,58	0,358974	0,319558	0,039416

Chapitre 5 : Analyse FMD des équipements résultat et discussions

15	99,50	0,384615	0,328228	0,056387
16	128,50	0,410256	0,409685	0,000571
17	145,50	0,435897	0,453540	0,017643
18	158,42	0,461538	0,484993	0,023455
19	162,17	0,487179	0,493826	0,006646
20	169,50	0,512821	0,510711	0,002109
21	169,58	0,538462	0,510893	0,027569
22	185,67	0,564103	0,546228	0,017875
23	186,67	0,589744	0,548348	0,041396
24	188,17	0,615385	0,551511	0,063873
25	198,17	0,641026	0,572102	0,068924
26	246,50	0,666667	0,660129	0,006537
27	261,17	0,692308	0,683378	0,008930
28	290,25	0,717949	0,725052	0,007103
29	296,17	0,743590	0,733044	0,010546
30	306,58	0,769231	0,746355	0,022875
31	328,75	0,794872	0,772665	0,022207
32	366,92	0,820513	0,812051	0,008462
33	389,08	0,846154	0,831861	0,014293
34	404,92	0,871795	0,844789	0,027006
35	427,58	0,897436	0,861649	0,035786
36	483,33	0,923077	0,896007	0,027070
37	1057,75	0,948718	0,995285	0,046567
38	1277,33	0,974359	0,998629	0,024270

Le tableau 5.5 montre que $Dn_m = 0.069$ et d'après le tableau de KOMOGOROV – SMIRNOV (voire l'annexe 1) :

$$Dn_\alpha = D_{25,0.05} = 0,270$$

$$Dn_m < Dn_\alpha$$

$$0.069 < 0.270$$

- $Dn_m < D_{25,0.05}$ implique que le modèle de Weibull est **acceptable**.

3.4 Le MTBF et l'écart type

3.4.1 Calcule le MTBF :

On a la formule : $MTBF = (A * \eta) + \gamma$

Chapitre 5 : Analyse FMD des équipements résultat et discussions

A partir de Tableau de la loi de weibull (voir annexe 2) selon la valeur de $\beta=1.10$;

On déduire : **A=0.9649**.

Donc on a : $MTBF = (0.9649 * 230) + 0 = 221.927$ h. **MTBF = 221.927 h.**

3.4.2 Calcule l'écart type (σ) :

$\sigma = B * \eta$ on a,

$B = 0.878$ (voir annexe 2) selon la valeur de $\beta=1.10$;

Donc on a : $\sigma = 0.878 * 230 = 201.94$

3.5 Calcul de $R(t)$, $F(t)$, $f(t)$, $\lambda(t)$ « $t = MTBF$ »

A « $t = MTBF = 221.927$ h »

❖ **La fiabilité $R(t)$:**

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \longrightarrow R(MTBF) = e^{-\left(\frac{221.927-0}{230}\right)^{1.10}} = \mathbf{38\%}$$

On remarque que la fiabilité de notre machine est **très faible**

Nous avons 38% de chance pour que notre machine être fiable à l'instant $T=221.927$ compris entre $[0 ; 1277.33]$ (ne tombe pas en panne).

❖ **La Fonction de répartition $F(t)$:**

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \longrightarrow F(MTBF) = 1 - e^{-\left(\frac{221.927-0}{230}\right)^{1.10}} = \mathbf{62\%}$$

On remarque que la probabilité de défaillance est **très grand**

La probabilité de subir une défaillance à l'instant $T=221.927$ compris entre $[0 ; 1277.33]$ est 62%.

❖ **Taux de défaillance $\lambda(t)$:**

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \longrightarrow \lambda(MTBF) = \frac{1.10}{230} \cdot \left(\frac{221.927-0}{230}\right)^{1.10-1} = \mathbf{0.477\%}$$

Chapitre 5 : Analyse FMD des équipements résultat et discussions

On a une probabilité de vitesse estimer des défaillances de 0,477 % panne h^{-1} .

❖ **Densité de probabilité de défaillance f(t) :**

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \longrightarrow f(\text{MTBF}) = R(\text{MTBF}) \cdot \lambda(\text{MTBF}) = \mathbf{0.18\%}$$

On a une probabilité de 0.18 % pour que notre machine tombe en panne juste à $t = 221.927$ h.

3.6 Calculs de la fiabilité R(t), La fonction de répartition F(t), la densité probabilité f(t) et du taux de défaillance $\lambda(t)$:

Dans le tableau suivant nous avons déterminé les valeurs de R(t), f(t) F(t) et de $\lambda(t)$ pour tracer les courbes de chaque paramètre.

Tableau 5.6 Étude des modèles de Weibull

Range	TBF(heure)	F (t)	R(t)	$\lambda(t)$	f(t)
1	11,50	0,03637853	0,96362147	0,00354456	0,00341561
2	17,50	0,05711283	0,94288717	0,00369654	0,00348542
3	20,17	0,06644043	0,93355957	0,00374941	0,00350030
4	21,67	0,07169513	0,92830487	0,00377640	0,00350565
5	28,33	0,09507317	0,90492683	0,00387897	0,00351019
6	31,58	0,10647217	0,89352783	0,00392133	0,00350382
7	40,50	0,13758011	0,86241989	0,00402011	0,00346702
8	52,25	0,17789068	0,82210932	0,00412383	0,00339024
9	56,08	0,19081914	0,80918086	0,00415310	0,00336061
10	79,92	0,26847408	0,73152592	0,00430286	0,00314766
11	88,17	0,29411226	0,70588774	0,00434534	0,00306732
12	88,25	0,29435762	0,70564238	0,00434574	0,00306654
13	93,50	0,31032067	0,68967933	0,00437092	0,00301454
14	96,58	0,31955816	0,68044184	0,00438511	0,00298381
15	99,50	0,32822824	0,67177176	0,00439819	0,00295458
16	128,50	0,40968546	0,59031454	0,00451214	0,00266358
17	145,50	0,45354021	0,54645979	0,00456855	0,00249653
18	158,42	0,48499341	0,51500659	0,00460758	0,00237294
19	162,17	0,49382576	0,50617424	0,00461837	0,00233770
20	169,50	0,51071126	0,48928874	0,00463884	0,00226973
21	169,58	0,51089281	0,48910719	0,00463906	0,00226900
22	185,67	0,54622803	0,45377197	0,00468130	0,00212424
23	186,67	0,54834787	0,45165213	0,00468381	0,00211545
24	188,17	0,55151119	0,44848881	0,00468756	0,00210232

Chapitre 5 : Analyse FMD des équipements résultat et discussions

25	198,17	0,57210173	0,42789827	0,00471190	0,00201621
26	246,50	0,66012937	0,33987063	0,00481586	0,00163677
27	261,17	0,68337762	0,31662238	0,00484378	0,00153365
28	290,25	0,72505174	0,27494826	0,00489519	0,00134592
29	296,17	0,73304382	0,26695618	0,00490508	0,00130944
30	306,58	0,74635546	0,25364454	0,00492205	0,00124845
31	328,75	0,77266480	0,22733520	0,00495654	0,00112680
32	366,92	0,81205067	0,18794933	0,00501129	0,00094187
33	389,08	0,83186069	0,16813931	0,00504076	0,00084755
34	404,92	0,84478882	0,15521118	0,00506091	0,00078551
35	427,58	0,86164945	0,13835055	0,00508855	0,00070400
36	483,33	0,89600707	0,10399293	0,00515130	0,00053570
37	1057,75	0,99528492	0,00471508	0,00557096	0,00000704
38	1277,33	0,99862904	0,00137096	0,00567705	0,00000200

3.7 Présentation des courbes $R(t)$, $f(t)$, $F(t)$, $\lambda(t)$:

a) La courbe de la fiabilité :

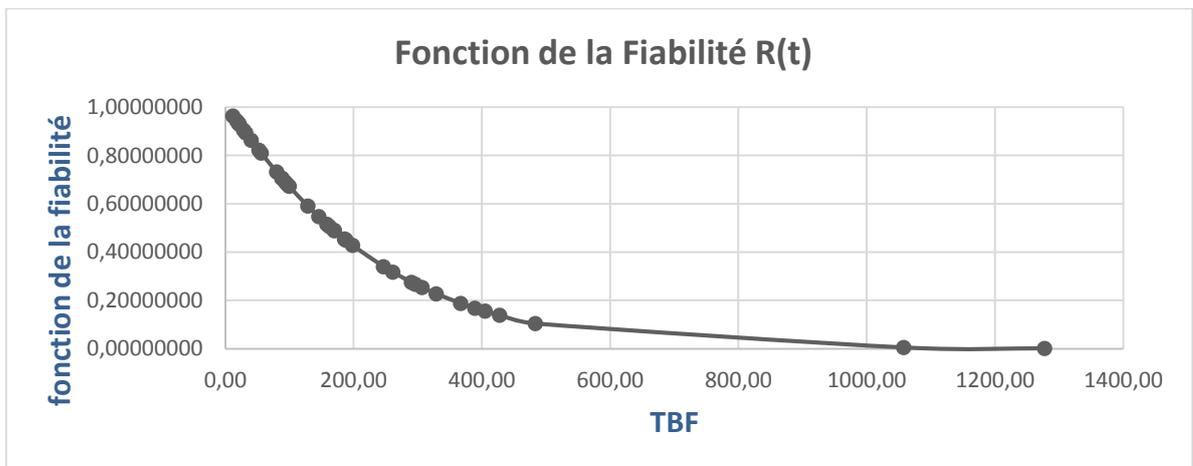


FIG 5.2 La courbe De la fonction de la fiabilité

Analyse de la courbe :

On remarque dans la courbe de la fiabilité $R(t)$, que la probabilité de non défaillance à l'instant T compris entre $[0 ; 1277.33h]$ de la machine décroît en fonction de TB, c'est tout à fait logique parce que par l'augmentation de TBF on a diminué dans l'autre part le nombre des défaillances.

b) La courbe de la fonction de répartition $F(t)$:

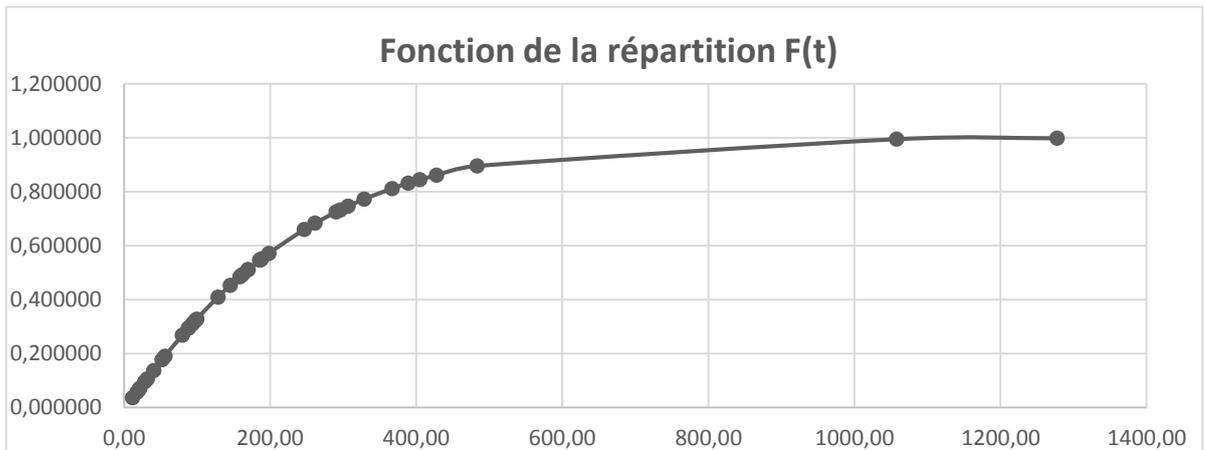


FIG 5.3 La courbe De la fonction de la répartition

Analyse de la courbe :

On peut voir dans cette courbe de la fonction de répartition $F(t)$, la probabilité que la machine subir une défaillance à l'instant T compris entre $[0 ; 1277.33h]$, augmente avec l'augmentation du temps de bon fonctionnement, c'est-à-dire qu'il est très probable d'avoir plusieurs défaillances lorsque la machine marche sans arrêt et sans avoir une stratégie de maintenance pour intervenir faiblement.

c) La courbe du taux de défaillance :

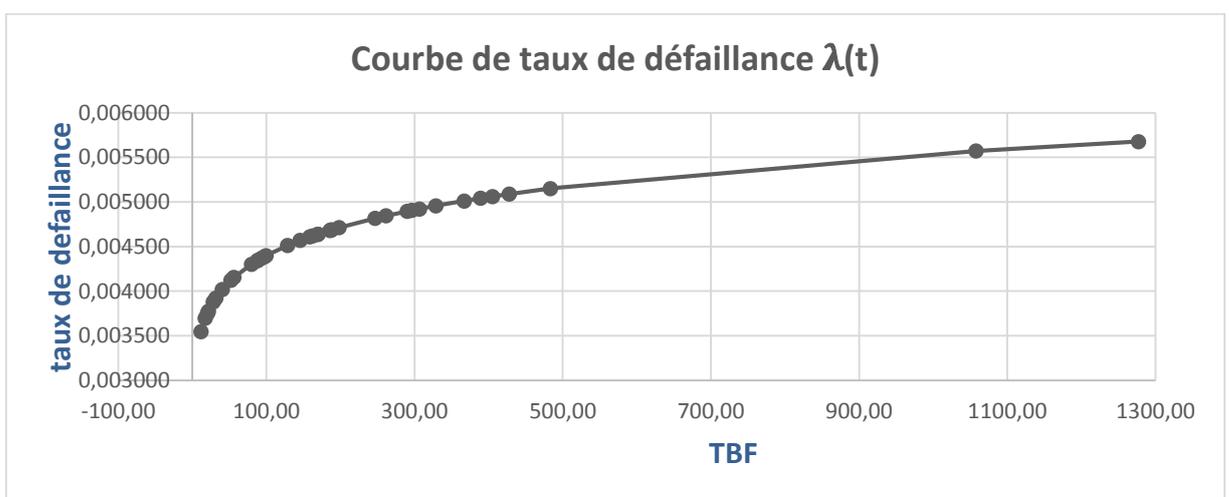


FIG 5.4 La courbe de taux de défaillance

Chapitre 5 : Analyse FMD des équipements résultat et discussions

Analyse de la courbe :

A partir de la courbe, on remarque que le taux de défaillance $\lambda(t)$ croit avec le temps, c'est-à-dire que la vitesse à laquelle la machine subit des défaillances augmente par rapport à l'augmentation du temps de bon fonctionnement, effectivement parce que on a une $\beta = 1.10$. (Et on sait que à partir de la courbe théorique de baignoire lorsque $\beta > 1$ le taux de défaillance $\lambda(t)$ est croissant, période des pannes et de vieillesse ou maturité en mécanique).

Et aussi quand le taux de défaillance augmente avec l'augmentation du temps de bon fonctionnement, cette augmentation qui provoque la diminution de fiabilité de la machine.

d) Courbe de la densité de la probabilité de défaillance $f(t)$:

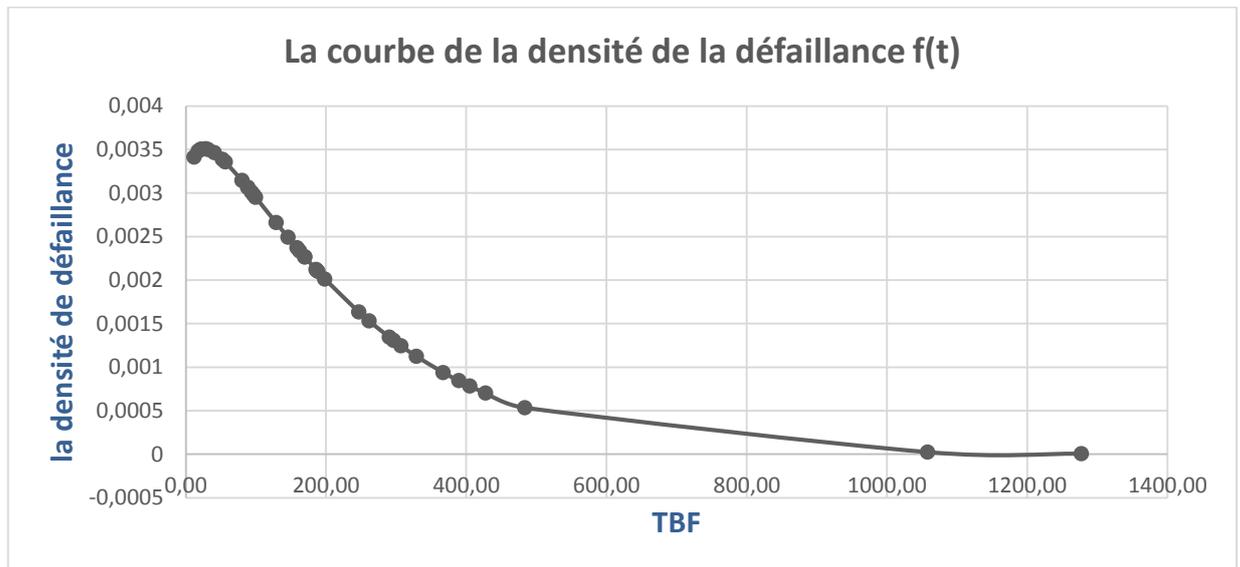


FIG 5.5 La Courbe De la densité de la probabilité de Défaillance

Analyse de la courbe :

On remarque que dans la courbe la fonction de densité croit juste au début, puis se décroît avec l'augmentation du temps de bon fonctionnement c'est-à-dire que la probabilité d'avoir une défaillance à l'instant (t) diminue quand on augmente la TBF de la machine effectivement logique.

Chapitre 5 : Analyse FMD des équipements résultat et discussions

4. L'analyse de La maintenabilité :

La maintenabilité peut se caractériser par sa MTTR (Moyenne des Temps Technique de Réparation).

$$MTTR = \frac{\sum \text{temps d'intervention pour (n) pannes}}{\text{nombre des pannes (n)}}$$

$$MTTR = \frac{\sum TTR}{\text{nombre des pannes (N)}}$$

$$MTTR = \frac{75,583}{38} = 1,989 \text{ h / panne}$$

$$\text{Le taux de réparation : } \mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{1,989} = 0,5 \text{ intervention } h^{-1}$$

La fonction de maintenabilité c'est :

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t}$$

$$M(MTTR) = 1 - e^{-(0,5)1,989} = 63\%$$

Le tableau ci-dessous résume les calculs de la maintenabilité, pour N=38 pannes d'après l'historique précédent.

Tableau 5.7 calcul de la maintenabilité

Range	TTR(heure)	M(t)	Range	TTR(heure)	M(t)
1	0,250	0,1181109	20	1,000	0,3951386
2	0,333	0,1541538	21	1,000	0,3951386
3	0,333	0,1541538	22	1,000	0,3951386
4	0,417	0,1891314	23	1,167	0,4438495
5	0,500	0,2222717	24	1,167	0,4438495
6	0,500	0,2222717	25	1,167	0,4438495
7	0,500	0,2222717	26	1,500	0,5295822
8	0,500	0,2222717	27	1,500	0,5295822
9	0,500	0,2222717	28	1,500	0,5295822
10	0,500	0,2222717	29	1,750	0,5851437
11	0,500	0,2222717	30	2,000	0,6341427
12	0,583	0,2540575	31	2,000	0,6341427
13	0,667	0,2849038	32	3,167	0,7965283

Chapitre 5 : Analyse FMD des équipements résultat et discussions

14	0,750	0,3141299	33	4,000	0,8661485
15	0,833	0,3421615	34	4,167	0,8769278
16	1,000	0,3951386	35	4,833	0,9119473
17	1,000	0,3951386	36	6,000	0,9510294
18	1,000	0,3951386	37	10,000	0,9934452
19	1,000	0,3951386	38	15,000	0,9994693

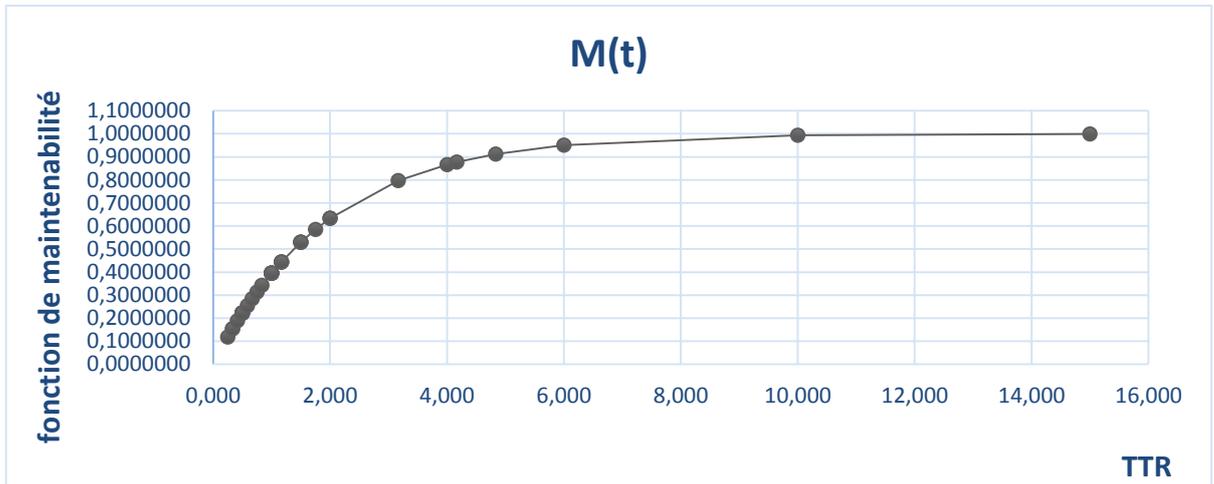


FIG 5.6 La courbe de la maintenabilité en fonction de TTR

Analyse de la courbe :

On remarque l'augmentation de la Maintenabilité en fonction du temps de réparation, est tout à fait logique, puisque la probabilité de l'aptitude d'être la machine maintenue, augmente avec l'augmentation des TTR, mais notre objectif c'est on diminue le temps de réparation.

5. L'analyse de la disponibilité :

5.1 Disponibilité intrinsèque :

On peut calculer la disponibilité intrinsèque par l'équation suivante :

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

On a: MTBF = 221.927

$$MTTR = 1.989$$

$$D_i = \frac{221.927}{221.927 + 1.989} = 0.99 = 99 \%$$

Chapitre 5 : Analyse FMD des équipements résultat et discussions

5.2 Disponibilité instantané

$$D(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-t(\lambda + \mu)}$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{1.989} = 0.5 \text{ h}^{-1}$$

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{221.927} = 0.004506 \text{ h}^{-1}$$

Tableau 5.8 calcul de la disponibilité

Range	TBF(heure)	D(t)	Range	TBF(heure)	D(t)
1	11,50	0,99114305717	20	169,50	0,99111705000
2	17,50	0,99111828961	21	169,58	0,99111705000
3	20,17	0,99111736995	22	185,67	0,99111705000
4	21,67	0,99111719950	23	186,67	0,99111705000
5	28,33	0,99111705510	24	188,17	0,99111705000
6	31,58	0,99111705098	25	198,17	0,99111705000
7	40,50	0,99111705001	26	246,50	0,99111705000
8	52,25	0,99111705000	27	261,17	0,99111705000
9	56,08	0,99111705000	28	290,25	0,99111705000
10	79,92	0,99111705000	29	296,17	0,99111705000
11	88,17	0,99111705000	30	306,58	0,99111705000
12	88,25	0,99111705000	31	328,75	0,99111705000
13	93,50	0,99111705000	32	366,92	0,99111705000
14	96,58	0,99111705000	33	389,08	0,99111705000
15	99,50	0,99111705000	34	404,92	0,99111705000
16	128,50	0,99111705000	35	427,58	0,99111705000
17	145,50	0,99111705000	36	483,33	0,99111705000
18	158,42	0,99111705000	37	1057,75	0,99111705000
19	162,17	0,99111705000	38	1277,33	0,99111705000

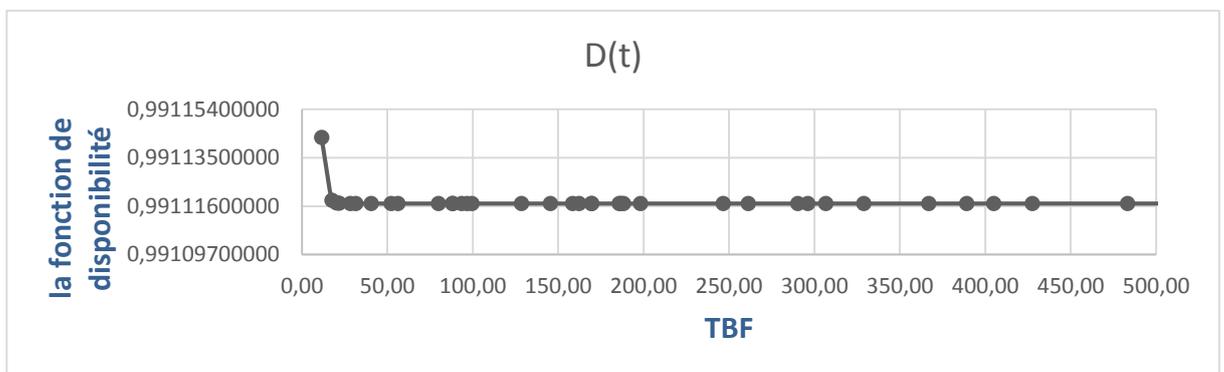


FIG 5.7 La courbe de la disponibilité en fonction de TTR

Chapitre 5 : Analyse FMD des équipements résultat et discussions

Analyse de la courbe :

On remarque que la courbe de la disponibilité se fait un petit décroissement jusqu'à TBF = 40h et puis se stabilise par rapport le temps de bon fonctionnement, c'est-à-dire que quand on augmente le MTBF, la machine être en meilleur état pour accomplir leur fonction requise.

6. L'optimisation de la performance de la machine :

Dans l'entreprise PLAST-AFRIQUE la majorité de personelles sont des autodidactes, ils sont développés leur compétence par expérience.

Et concernant la maintenance préventive il est estimé juste par 5% de temps globale de réparation appliquée et consiste en général des interventions de nettoyages, et de graissage des équipements sans étude préalable presque 2 fois / an

Donc ils sont basés sur la maintenance corrective par 95 % de temps globale de réparation.

Pour augmenter la performance de la machine on propose deux solution efficace :

6.1 Un plan de maintenance préventive systématique :

Notre objectif est d'augmenter la fiabilité de la machine à $R(t) = 90\%$.

Sont pourcentage de fiabilité actuelle est $R = 38\%$

Et pour atteindre l'objectif il faut augmenter TBF, et diminue les pannes.

- $R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = 90 \%$
- $t = ?$
- $e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = 0.9$
- $\ln R(t) = -\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta = \ln(0.9)$
- $-[\ln(0.9)]^{\frac{1}{\beta}} = \frac{t}{\eta}$
- $t = \eta[\ln\left(\frac{1}{0.9}\right)]^{\frac{1}{\beta}}$
- $t = 29.7340 \text{ h}$

Chapitre 5 : Analyse FMD des équipements résultat et discussions

Il faut subir une intervention chaque 29.7340 heures.

Pour programmation de la maintenance préventive systématique pour garder et assurer la fiabilité de 90% de la machine.

6.2 Le diagramme de PARETO (ABC) :

On propose cette solution qui nous permet de visualiser les défaillances par importance décroissante par rapport leur temps d'intervention, de causes ou de dysfonctionnements afin de déterminer lesquels sont prioritaires.

Donc à partir de l'historique de la machine on obtient ce tableau :

Tableau 5.9 L'analyse ABC (Pareto)

N°	CAUSE D'ARRET	TTR(heure)	%TTR CUMUL	% des pannes cumul	ABC
1	endommagement du moteur sous traitance	15,000	19,8%	3%	A
2	Défaut sur minuterie (commande logique)	10,000	33,1%	5%	A
3	Détection de fuite et élimination par soudure	6,000	41,0%	8%	A
4	réglage de la précision de circuit hydraulique	4,833	47,4%	11%	A
5	Changement de roulement de l'axe x	4,167	52,9%	13%	A
6	changement roulement tapis	4,000	58,2%	16%	A
7	changement profil	3,167	62,4%	18%	A
8	Changement d'aspirateur flux	2,000	65,0%	21%	A
9	Changement vérin guidage bande	2,000	67,7%	24%	A
10	Changement tige fileté entre dévidoir	1,750	70,0%	26%	A
11	Changement poulie guidage bande	1,500	72,0%	29%	A
12	Changement galet d'entrée	1,500	74,0%	32%	A
13	Changement galet denrée	1,500	76,0%	34%	A
14	Réparation d'aspirateur et changement courroie	1,167	77,5%	37%	A
15	changement commutateur	1,167	79,1%	39%	A
16	changement capteur fin de (position) et fusible	1,167	80,6%	42%	B
17	changement pignon de couteau	1,000	81,9%	45%	B
18	Montage tourteau	1,000	83,2%	47%	B
19	Soudage flasque dévidoir	1,000	84,6%	50%	B
20	changement valve proportionnel	1,000	85,9%	53%	B
21	Changement tourteau	1,000	87,2%	55%	B

Chapitre 5 : Analyse FMD des équipements résultat et discussions

22	une panne dans flexible	1,000	88,5%	58%	B
23	panne dans vérin pneu (réparation)	1,000	89,9%	61%	B
24	changement filtre tête démontage rpg filière	0,833	91,0%	63%	B
25	Changement vérin guidage bande	0,750	92,0%	66%	B
26	Serrage flasque	0,667	92,8%	68%	B
27	Changement de Relie de vitesse	0,583	93,6%	71%	B
28	changement disjoncteur moteur	0,500	94,3%	74%	B
29	Alignement et fixation motoréducteur	0,500	94,9%	76%	B
30	Changement galet	0,500	95,6%	79%	B
31	changement contacteur	0,500	96,3%	82%	C
32	Réglage manette et changement bague	0,500	96,9%	84%	C
33	changement contacteur	0,500	97,6%	87%	C
34	Montage tourteau	0,500	98,2%	89%	C
35	Changement galet d'appui	0,417	98,8%	92%	C
36	Changement des deux courroies	0,333	99,2%	95%	C
37	Changement courroie d'aspirateur	0,333	99,7%	97%	C
38	une panne dans électrovanne	0,250	100,0%	100%	C

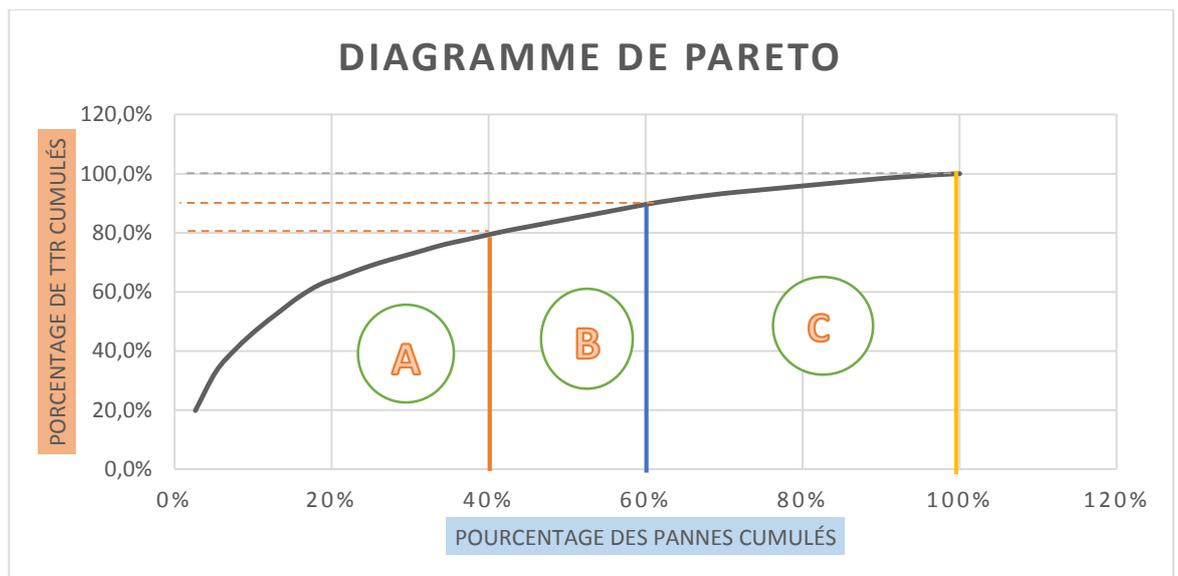


FIG 5.8 Diagramme de PARETO

Interprétation des résultats :

Zone « A » : Dans la majorité des cas, on constate qu'environ 39,00 % des pannes (presque 16 premières pannes) représente 80,00 % de temps des interventions (presque 60 h de temps totale des heures d'arrêts), ceci constitue la zone A, zone des priorités qui il faut basée notre stratégie de maintenance sur elle.

Chapitre 5 : Analyse FMD des équipements résultat et discussions

Zone « B » : Dans cette tranche, les 43 % des pannes (15 pannes) représentent 15 % de temps d'intervention total (presque 12 h) donc il faut baser notre maintenance en deuxième lieu par ces pannes.

Zone « C » : Dans cette zone les 18 % des pannes (presque 8 pannes) restant ne représentent qu'ont 5,00 % des heures d'arrêts (presque 3 h)

7. Recommandations :

L'étude que nous avons menée à cette machine de Sarl Plast Afrique a abouti à : notre machine a une $\beta = 1.10$ donc ($\beta > 1$), et une croissance au niveau de $\lambda(t)$ par rapport le temps, c'est deux indicateurs signifiera que la machine est dans la période d'Obsolescence (vieillesse) est soumis à des défaillances à cause de fatigue et d'usure.

On trouve que la fiabilité de la machine est $R(t) = 38\%$ elle très faible, et une

MTBF = 221.927 h donc :

1. A cause de l'adoption de l'entreprise par la maintenance corrective on propose Une stratégie de maintenance préventive systématique au but de l'amélioration de la fiabilité a une valeur optimal $R(t) = 90\%$, il faut que on intervient tous les 29.73 h pour garder cette fiabilité optimale et pour on obtient une MTBF = 525.6 h.
2. Et après le test de Pareto (courbe ABC) La vision est devenue claire pour nous parce qu'on connaitre les éléments de moteur, c'est les plus tombant en panne de la machine, et faire un changement des pièces pour le but d'augmenter le temps de bon fonctionnement et minimiser le temps d'arrêt, Et on remarque que la majorité des pannes sont des pannes mécaniques et en deuxième lieu électrique et automatique. Et le personnel de l'entreprise Plast Afrique sont au majoritaire des autodidactes, et pour cette raison on propose de recruter des ingénieurs et des techniciens on mécanique, électrique, automatique et en maintenance industrielle.
3. On propose à la direction de l'entreprise d'acheter un stabilisateur régulateur de tension 380v pour protéger les parties électriques des machines contre les perturbations de tension, et fourniture des transformateur d'isolement pour nos donner une neutre propre, et pour la partie de commande logique et la partie des cartes électronique des machines on propose

Chapitre 5 : Analyse FMD des équipements résultat et discussions

installer des onduleurs pour nos donner une tension / courant onduler, pour protéger les équipements électroniques des machines.

4. Et finalement on propose de mise en place un service de maintenance pour la gestion des stocks et gérer le problème des pièces de rechange et en suite il peut appliquer tous ces recommandations et essayer de développer la fiabilité et la disponibilité des équipements de l'entreprise.

8. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons pris l'historique de la machine choisie puis on a calculé les TBF et les TTR, puis on a appliqué la loi de weibull afin de trouve la fonction de répartition réelle et théorique qu'est a pour but de choisir la méthode convenable pour estimer la fiabilité de cette machine. La maintenabilité et la disponibilité a été calculé.

Finalement, on a pu atteindre notre objectif d'améliorer la fiabilité et la disponibilité, par l'augmentation du temps de bon fonctionnement et de minimiser le temps d'arrêt à partir des opérations de la maintenance préventive systématique.

Chapitre 5 : Analyse FMD des équipements résultat et discussions

Conclusion générale

Le travail que l'on a accompli dans le cadre de ce mémoire est accordé aux objectifs que l'on fixés, à posséder une recherche bibliographique.

Dans notre travail, les généralités et les notions de base sur la maintenance sont présentés et l'importance du par l'illustration de leurs définitions, leurs avantages. Les types, les opérations et les niveaux de maintenance sont bien expliquées ainsi qu'une description paramétrique de la sûreté de fonctionnement.

Nous avons fait un stage au sien de l'entreprise de Sarl Plast Afrique, ce stage a pour le but de faire le contact avec le milieu industriel et de connaitre la constitution de cette entreprise, et on a vu généralement les produits de cette entreprise et leur personnel, Ces connaissances nous ont permis de choisir une machine importante, c'est la machine de fabrication des tubes en PE, ensuite nous avons pris leur historique de panne.

L'historique de panne de la machine choisie nous a permis de calculer les temps de bon fonctionnement (TBF) selon le mode d'emploi de cette machine et le temps d'arrêt (TTR) pendant l'année 2020. On a utilisé le papier de Weibull pour tracer la courbe de la fonction de répartition en fonction du temps de bon fonctionnement. Cette courbe a facilité d'extraire les paramètres de méthode de Weibull, et on trouve que $\beta = 1.10$ donc ($\beta > 1$), et une croissance au niveau de $\lambda(t)$ par apport le temps, c'est deux indicateurs signifiera que la machine est dans la période d'obsolescence (vieillesse) est soumis à des défaillances à cause de fatigue et d'usure, pour vérifier quelle méthode acceptée pour calculer la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité. L'application du test KS a montré que la méthode de Wiebull est acceptée pour le calcul des paramètres de la sureté de fonctionnement.

D'après les résultats obtenus, on a conclu que la fiabilité de la machine $R(t) = 38\%$ est très faible à cause de l'adoption seulement par la maintenance corrective, et l'augmentation du temps d'arrêt.

Donc finalement dans ce travail on voit comment la maintenance préventive influencer à l'amélioration de la fiabilité et la disponibilité de la machine que nous avons prise comme un exemple des équipements de l'entreprise Plast Afrique.

Annexe 1

$n \setminus \alpha$	0.01	0.05	0.1	0.15	0.2
1	0.995	0.975	0.950	0.925	0.900
2	0.929	0.842	0.776	0.726	0.684
3	0.828	0.708	0.642	0.597	0.565
4	0.733	0.624	0.564	0.525	0.494
5	0.669	0.565	0.510	0.474	0.446
6	0.618	0.521	0.470	0.436	0.410
7	0.577	0.486	0.438	0.405	0.381
8	0.543	0.457	0.411	0.381	0.358
9	0.514	0.432	0.388	0.360	0.339
10	0.490	0.410	0.368	0.342	0.322
11	0.468	0.391	0.352	0.326	0.307
12	0.450	0.375	0.338	0.313	0.295
13	0.433	0.361	0.325	0.302	0.284
14	0.418	0.349	0.314	0.292	0.274
15	0.404	0.338	0.304	0.283	0.266
16	0.392	0.328	0.295	0.274	0.258
17	0.381	0.318	0.286	0.266	0.250
18	0.371	0.309	0.278	0.259	0.244
19	0.363	0.301	0.272	0.252	0.237
20	0.356	0.294	0.264	0.246	0.231
25	0.320	0.270	0.240	0.220	0.210
30	0.290	0.240	0.220	0.200	0.190
35	0.270	0.230	0.210	0.190	0.180
40	0.250	0.210	0.190	0.180	0.170
45	0.240	0.200	0.180	0.170	0.160
50	0.230	0.190	0.170	0.160	0.150
OVER 50	1.63	1.36	1.22	1.14	1.07
	$\frac{1.63}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.14}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.07}{\sqrt{n}}$

Annexe 2

0,05	2,43290E+18	9,03280E+23		1,75	0,89062	0,52523		3,45	0,89907	0,28822		5,15	0,91974	0,20505
0,1	3,62880E+06	1,55977E+09		1,8	0,88929	0,51123		3,5	0,89975	0,28473		5,2	0,92025	0,20336
0,15	2,59357E+03	1,21993E+05		1,85	0,88821	0,49811		3,55	0,90043	0,28133		5,25	0,92075	0,20170
0,2	1,20000E+02	1,90116E+03		1,9	0,88736	0,48579		3,6	0,90111	0,27802		5,3	0,92125	0,20006
0,25	2,40000E+01	1,99359E+02		1,95	0,88671	0,47419		3,65	0,90178	0,27479		5,35	0,92175	0,19846
0,3	9,26053E+00	5,00780E+01		2	0,88623	0,46325		3,7	0,90245	0,27164		5,4	0,92224	0,19688
0,35	5,02914E+00	1,99761E+01		2,05	0,88589	0,45291		3,75	0,90312	0,26857		5,45	0,92272	0,19532
0,4	3,32335E+00	1,04382E+01		2,1	0,88569	0,44310		3,8	0,90379	0,26558		5,5	0,92320	0,19379
0,45	2,47859E+00	6,46009E+00		2,15	0,88561	0,43380		3,85	0,90445	0,26266		5,55	0,92368	0,19229
0,5	2,00000E+00	4,47214E+00		2,2	0,88562	0,42495		3,9	0,90510	0,25980		5,6	0,92414	0,19081
0,55	1,70243E+00	3,34530E+00		2,25	0,88573	0,41652		3,95	0,90576	0,25701		5,65	0,92461	0,18935
0,6	1,50458E+00	2,64514E+00		2,3	0,88591	0,40848		4	0,90640	0,25429		5,7	0,92507	0,18792
0,65	1,36627E+00	2,17887E+00		2,35	0,88617	0,40080		4,05	0,90704	0,25162		5,75	0,92552	0,18651
0,7	1,26582E+00	1,85117E+00		2,4	0,88648	0,39345		4,1	0,90768	0,24902		5,8	0,92597	0,18512
0,75	1,19064	1,61077		2,45	0,88685	0,38642		4,15	0,90831	0,24647		5,85	0,92641	0,18375
0,8	1,13300	1,42816		2,5	0,88726	0,37967		4,2	0,90894	0,24398		5,9	0,92685	0,18240
0,85	1,08796	1,28542		2,55	0,88772	0,37319		4,25	0,90956	0,24154		5,95	0,92729	0,18107
0,9	1,05218	1,17111		2,6	0,88821	0,36696		4,3	0,91017	0,23915		6	0,92772	0,17977
0,95	1,02341	1,07769		2,65	0,88873	0,36097		4,35	0,91078	0,23682		6,05	0,92815	0,17848
1	1,00000	1,00000		2,7	0,88928	0,35520		4,4	0,91138	0,23453		6,1	0,92857	0,17721
1,05	0,98079	0,93440		2,75	0,88986	0,34963		4,45	0,91198	0,23229		6,15	0,92898	0,17596
1,1	0,96491	0,87828		2,8	0,89045	0,34427		4,5	0,91257	0,23009		6,2	0,92940	0,17473
1,15	0,95170	0,82971		2,85	0,89106	0,33909		4,55	0,91316	0,22793		6,25	0,92980	0,17351
1,2	0,94066	0,78724		2,9	0,89169	0,33408		4,6	0,91374	0,22582		6,3	0,93021	0,17232
1,25	0,93138	0,74977		2,95	0,89233	0,32924		4,65	0,91431	0,22375		6,35	0,93061	0,17113
1,3	0,92368	0,71644		3	0,89298	0,32455		4,7	0,91488	0,22172		6,4	0,93100	0,16997
1,35	0,91699	0,68657		3,05	0,89364	0,32001		4,75	0,91544	0,21973		6,45	0,93139	0,16882
1,4	0,91142	0,65964		3,1	0,89431	0,31561		4,8	0,91600	0,21778		6,5	0,93178	0,16769
1,45	0,90672	0,63522		3,15	0,89498	0,31135		4,85	0,91655	0,21586		6,55	0,93216	0,16657
1,5	0,90275	0,61294		3,2	0,89565	0,30721		4,9	0,91710	0,21397		6,6	0,93254	0,16547
1,55	0,89939	0,59252		3,25	0,89633	0,30319		4,95	0,91764	0,21212		6,65	0,93292	0,16439
1,6	0,89657	0,57372		3,3	0,89702	0,29929		5	0,91817	0,21031		6,7	0,93329	0,16332
1,65	0,89421	0,55635		3,35	0,89770	0,29550		5,05	0,91870	0,20853		6,75	0,93366	0,16226
1,7	0,89224	0,54024		3,4	0,89838	0,29181		5,1	0,91922	0,20677		6,8	0,93402	0,16121

Références bibliographiques

- [1] **Barger P.** Evaluation et Validation de La Fiabilité et de la disponibilité des Systèmes D'Automatisation à Intelligence Distribuée, en Phase Dynamique. Thèse de Doctorat de l'UHP Nancy 1, France, 2003
- [2] **P. Lyonnet.** Ingénierie de la Fiabilité. Edition Tec et Doc, Lavoisier, Paris 2006.
- [3] **H. Langseth , L. Portinale,** Bayesian networks in reliability, Reliability Engineering and System Safety 92 (2007) 92–108
- [4] **XieM, Lai,** CD.On the increase of the expected lifetime by parallel redundancy. Asia–Pac J Oper Res 1996; 13:171–9.
- [5] **Guangbin Yang,** Life Cycle Reliability Engineering. 2007 John Wiley & Sons, Inc. ISBN: 978-0-471-71529-0
- [6] **Michael T. Todinov,** Risk-Based Reliability Analysis and Generic Principles for Risk Reduction, 2006 Elsevier Science & Technology Books. ISBN : 0080447287
- [7] **O. Basile.** Thèse de Doctorat, Université de Mons, Belgique.Prise en compte de l'incertitude dans les modèles fiabilistes de maintenance industrielle. Extensions aux sollicitations variables, 2007.
- [8] **B. Kilundu.** Thèse de Doctorat, Université de Mons. Détection et diagnostic vibratoire de dégradation mécaniques : apport du data mining, 2008.
- [9] **A. Lesage et P. Dehombreux.** Maintenance and Quality Control: A First Methodological Approach for Maintenance Policy Optimization. Proceeding of the14th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, Bucharest (Romania), 2012.
- [10] **X.S. Si et al.** A Wiener-process-based degradation model with a recursive filter algorithm for remaining useful life estimation. Mechanical Systems and Signal Processing, 35:219–237,2013.
- [11.]. **Benedetti, C. A.** (2002). Introduction à la gestion des opérations (4e éd). Québec: Sylvain Ménard. 2002.
- [12.]. **Monchy, F.** Maintenance Méthodes et Organisations (2e édition). Paris : Dunod (2003).
- [13]. **H.P.Ramella.** Maintenance des turbines à vapeur. Techniques de l'ingénieur, Référence BM4186. 2002.
- [14]. **R. Dekker,** Applications of maintenance optimization models: a review and analysis, Reliability Engineering and System Safety 51(1996), 229–240.
- [15]. **Benedetti, C. A.** (2002). Introduction à la gestion des opérations (4e éd). Québec : Sylvain Ménard. 2002.
- [16.]. **Jean Héng ,** pratique de la maintenance préventive (4e éd) . Paris: Dunod (2017).
- [17]. **I.W Burr.** Statistical quality control methods. Marcel Dekker, 1976.

- [18] **E. Deloux, B. Castanier, and C. Bérenguer**. Construction d'un schéma de maintenance pour des systèmes soumis à des contraintes de stress. In 7ème Journée des Doctorants de l'Ecole Doctorale S.T.I.M., 2007.
- [19]. **Benedetti, C. A.** (2002). Introduction à la gestion des opérations (4e éd). Québec : Sylvain Ménard. 2002.
- [20]. **Monchy, F.** Maintenance Méthodes et Organisations (2e édition). Paris: Dunod (2003).
- [21]. **Devarun Ghosh, Sandip Roy**, Maintenance optimization using probabilistic cost benefit analysis. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 2009 ; 22(4) : 403-407.
- [22]. **Deloux E., Castanier B., and Bérenguer C.**, Optimisation de la politique de maintenance pour un système à dégradation graduelle stressé, 7ème Congrès international pluridisciplinaire Qualité de Sûreté de Fonctionnement, 20, 21 et 22 mars 2007, volume 1, pages 142–149, Tanger (Maroc), 2007.
- [23]. **Hafaifa 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.
- [24]. **Jean Héng** , pratique de la maintenance préventive (4e éd) . Paris: Dunod (2017).
- [25]. **Anthony Kelly**, Maintenance and the industrial organization. Plant Maintenance Management Set 2006; 3(1): 3-8.
- [26]. **Marmier F**, Contribution à l'ordonnancement des activités de maintenance sous contrainte de compétence : une approche dynamique, proactive et multicritère. Thèse de Doctorat, Université Franche-Comté, France.2007.
- [27]. **Abbou R**, Contribution à la mise en œuvre d'une maintenance centralisée : conception et optimisation d'un atelier de maintenance. Thèse de Doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble, France. 2003.
- [28]. **Alhouaij Ahmad**, Contribution à l'optimisation de la maintenance dans un contexte distribué. Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG, 2010.
- [29] "Manuel de maintenance", **NAPHTOGAZ, HMD**, (2001).
- [30] Optimisation de la fiabilité d'un système électromécanique. Thèse de Master, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M' SILA 2017/2018
- [31] **BRAHIM HEROU.MOHAMED ELGHORBA**, L'AMDC un outil puissant d'optimisation de la maintenance, application à une moto compresseur d'une PME Marocaine, Ecole nationale supérieure, d'électricité de mécanique Casablanca, Marco, 2005.
- [32] **CHRISTIAN HOHMANN** / portail maintenance productive
- [33] **HATHAT ABDELKADER, DEBLAOUI HICHAM**, Mémoire (Etude analytique FMD d'une turbine DR 990) université Kasdi Merbah, Ouargla 2014/2015.
- [34] **A.villemeur** suereté de fonctionnement de systèmes industriel: fiabilité, facteurs humains, informatisation eyrolles, paris 1988

- [35] **Hoyland A .and Rausand M.**, « System Reliability Theory - Models and Statical Methods ». Wiley Series in Probability and Mathematical Statistics – Applied probability Statistics, Section. John Wiley& sons.
- [36]. **A. Kaufman, D. Grouchko, R. Cruon.** Modèles mathématiques pour l'étude de la fiabilité des systèmes. Edition Masson. 1975.
- [37]. **H. Procaccia, E. Ferton, and M. Procaccia.**, Fiabilité et maintenance des matériels industriels réparables et non réparables. Tec et Doc ,2011.
- [38]. **A. Villemeur.** Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels : fiabilité, facteurs humains, informatisation. Eyrolles, Paris, 1988.
- [39]. **Di.cho et M. Parlar,** Servey of maintenance model for multi-unit system, European journal of operation research, vol 51 n 01 pp 1-23. 1991.
- [40]. **R.E. Barlow, F. Proschan,** Theory for maintained system: distribution of time to first failure. Math. Oper. Res. pp.32–42.1976.
- [41]. **P.O'Connor,** Practical reliability engineering. Willey 1986.
- [42]. **Houssein Jaber,** Conception architecturale haut débit et sûre de fonctionnement pour les codes correcteurs d'erreurs, Thèse de Doctorat, l'Université Paul Verlaine – Metz, 2009.
- [43]. **Monchy, F.** Maintenance Méthodes et Organisations (2e édition). Paris : Dunod (2003).
- [44]. Optimisation de la fiabilité d'un système électromécanique. Thèse de Master, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF – M'SILA 2017/2018
- [45] **Mathieu.G,** « Modélisation des coûts de cycle de vie prévision des coûts de maintenance et de la fiabilité Application à l'aéronautique », Thèse de doctorat d'Ecole centrale de Lyon, 2005.
- [46]. **BOUTEMDJET, Chouaib,** « sureté de fonctionnement et d'évaluation de performance du système de production de champ gazier de MENZEL LEDJMET EAST MLE », Thèse de magister d'université BOUMERDES 2015.
- [47] **Rabiai.A, Laichi.I,** « Etude de la sureté de fonctionnement par analyse FMD application (PRESSE2500T) », Thèse d'ingénieur d'université m'silla, 2010.
- [48] **M. KADI,** Etude et amélioration FMD d'une motopompe centrifuge, Mémoire de master professionnel, Université de Ouargla, (2014).
- [49]. **HATHAT ABDELKADER, DEBLAOUI HICHAM,** Mémoire (Etude analytique FMD d'une turbine DR 990) université Kasdi Merbah, Ouargla 2014/2015.

Résumé

Dans notre travail ; nous allons faire une étude pour optimiser la fiabilité, maintenabilité et la disponibilité d'une machine de fabrication des tubes PE dans l'entreprise Sarl Plast Afrique, une étude statistique approfondie des défauts de ce système (historique de pannes) et la préconisation des solutions efficaces concernant la maintenance préventive systématique pour minimiser le temps d'arrêt et agrandir le temps de bon fonctionnement.

Les mots clés : la fiabilité, maintenabilité, disponibilité, maintenance préventive
Temps d'arrêt, temps de bon fonctionnement.

ملخص

في هذا العمل سنقوم بإجراء دراسة لتحسين الموثوقية وقابلية الصيانة وتوافر آلة لتصنيع أنابيب البولي إيثيلين في شركة Sarl Plast Afrique، وهي دراسة إحصائية متعمقة لأخطاء هذا النظام (سجل الأعطال) وتوصية من حلول فعالة في الصيانة الوقائية الروتينية لتقليل وقت التوقف عن العمل وزيادة وقت التشغيل.

الكلمات المفتاحية: الموثوقية، قابلية الصيانة، والتوافر، الصيانة الوقائية الروتينية، وقت التوقف، وقت التشغيل.

Abstract

In our work; we are going to carry out a study to optimize the reliability, maintainability and availability of a machine for manufacturing PE tubes in the company Sarl Plast Afrique, an in-depth statistical study of the faults of this system (failure history) and the recommendation of solutions effective in routine preventive maintenance to minimize down time and increase up time.

Key words: the reliability, maintainability, availability, preventive maintenance
Down time, up time.