

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHESCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE SCIENCES ET TECHNOLOGIES
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE
N° : ER-06



DOMAINE :SCIENCES ET TECHNOLOGIE
FILIERE : GENIE ELECTRIQUE
OPTION : Maintenance Des Equipement
Industriels

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par:

BOUZIANE LAKHDAR
MEDJAHED ALI

Intitulé

Etude et amélioration des paramètres de la
sûreté de fonctionnement d'un système
électromécanique

Soutenu devant le jury composé de:

Dr Mabrouk DEFDAF	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Président
Dr Zine GHEMARI	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Rapporteur
Dr Samir MABRAk	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Examineur

Année universitaire : 2019/ 2020

Remerciement

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force, la volonté et la patience d'accomplir ce modeste travail.

En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur Dr. GHEMARI zine pour son dévouement, ses conseils et son

Soutien moral tout le long de l'élaboration de ce travail. Ainsi que nous remercions pour toute l'aide et le soutien qu'il nous a offert tout au long de nos études.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

*Mes chers parents que nulle dédicace ne puisse
exprimer mes sincères sentiments, pour leur
patience illimitée, pour leur encouragement
continu, leur aide et leur grand sacrifice.*

*Mon cher frère et mes chères sœurs pour leur soutien
et leur encouragement.*

Mes grands-mères

Mes chers oncles et mes chères tantes.

*Mes cousins et cousines et à
toute la famille. Et à tous mes
amis et à tous ceux que
j'aime.*

SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

chapitre I :généralité sur le maintenance

I .1.Introduction :.....	2
I.2. Définition de la maintenance.....	2
I.3. Les objectifs de la maintenance.....	3
I.3.1. Garantie la production prévue.....	3
I.3.2. Amélioration de la qualité du produit.....	3
I.3.4. Recherche des coûts optimaux	3
I.3.5. Assurance de la sécurité des travailleurs et la qualité du milieu de travail.....	4
I.3.6. Respecter l'environnement.....	4
I.4. La fonction maintenance.....	4
I.5. Mise en œuvre d'une politique de maintenance.....	4
I .6.Les déferente type de la maintenance	6
I.6.1. Maintenance corrective ou réactive	6
I.6.2. Maintenance préventive	7
I.6.2.1. Maintenance préventive systématique.....	7
I.6.2.2. Maintenance préventive prévisionnelle	7
I.6.2.3. Maintenance préventive conditionnelle.....	8
I.6.2.4. Principe de la maintenance conditionnelle	8
I.7. Classification des tâches de maintenance.....	9
I.8. Choix des outils de surveillance	10
I .9.Les opérations de la maintenance.....	13
I.9.1. Les opérations de maintenance préventive	13
I.9.2. Les opérations de maintenance corrective	14
I.10.Evolution de la maintenance.....	14
I.11.conclusion.....	14

Chapitre II : la sûreté de fonctionnement.

II .1 Historique	15
II .2 Définition.....	16
II .3 Concepts fondamentaux de la sûreté de fonctionnement	17
II . 3.1 Fiabilité.....	17
II.3.1.1 Définition.....	17
II . 3.1.2Les principales lois	19
II . 3.1.2.1 Lois discrètes	19
II . 3.1.2.1.1 Loi uniforme.....	19
II . 3.1.2.1.2 Loi binomiale.....	20
II . 3.1.2.1.3 La loi binomiale négative.....	20
II . 3.1.2.1.4 Loi de Bernoulli.....	21
II . 3.1.2.1.5 Loi géométrique.....	21
II . 3.1.2.1.6 Loi hyper géométrique.....	22
II . 3.1.2.1.7 Loi poisson.....	22
II . 3.1.2.2 Lois continues	23
II . 3.1.2.2.1La loi gamma.....	23
II . 3.1.2.2.2 Loi inverse gamma.....	23
II . 3.1.2.2.3 La loi normal.....	24
II . 3.1.2.2.4 La loi log-normal.....	24
II . 3.1.2.2.5Loi Bêta.....	25
II . 3.1.2.2. 6 La loi de weibull.....	25
II . 3.1.2.2.7 Loi exponentielle.....	28
II . 3.1.2.2.8 La loi logistique.....	29
II . 3.1.2.2.9 La loi –logistique.....	29
II .3.2 Disponibilité.....	30
II.3.2.1 Définition.....	30

II . 3.2 .2 Différents niveaux de la disponibilité.....	31
II .3.3 La maintenabilité.....	32
II .3.4 La sécurité	33
II.4.conclusion	35

Chapitre III :Application de FMD et amélioration de SDF

III. L'analyse statistique de la FMD.....	36
III.1.Historique de pannes du groupe électropompe (GEP301 A).....	36
III.2.L'analyse FMD.....	38
III.2.1. La fiabilité.....	38
III .2.1.1.Test KOMOGOROV – SMIRNOV.....	41
III .2.1.2.Calculs de la fiabilité, de la densité probabilité et du temps de défaillance	43
III .2.1.3.Calcul de R (MTBF)	47
III .2.1.4.Calcul de F(MTBF) :.....	47
III .2.1.5.La densité de défaillance f(MTBF)	47
III .2.1.6.Calcul de λ (MTBF)	47
III .2.2.La maintenabilité.....	48
III .2.3La disponibilité.....	50
III .2.3.1.La disponibilité intrinsèque théorique.....	50
III .3.L'application des méthodes d'analyse.....	53
III .3.1.La méthode de la courbe ABC.....	53
III .4.Conclusion.....	55

Liste des figures

Les figures de chapitre I

Figure I.1: le contenu de la fonction maintenance.....	3
Figure I. 2: Les trois fonctions opérationnelles de la maintenance.....	4
Figure I. 3: Exemple de politiques de maintenance.....	5
Figure I. 4: Processus de déroulement d'une maintenance corrective sur un système ou un équipement	6
Figure I. 5: Structure de la maintenance conditionnelle.....	8
Figure I. 6: Principe de la maintenance conditionnelle.....	9

Les figures de chapitre II

Figure II.1: Evolution du taux de défaillance d'un système	19
Figure II.2 : principales propriétés de la distribution de Weibull	27
Figure II.3 : Le niveau de risque est fonction du couple : gravité, probabilité d'occurrence.....	33
Figure II.4 : Les interactions entre les grandeurs de la sûreté de fonctionnement(SDF)	34

Les figures de chapitre III

Figure III.1 : Papier fonctionnel de Weibull.....	40
Figure. III.2 Fonction de répartition $F(t)$	43
Figure. III.3 la densité de probabilité $f(t)$	45
Figure. III.4 la fonction de fiabilité $R(t)$	46
Figure. III.5 Taux de défaillance $\lambda(t)$	46
Figure III .6. Courbe de la fonction de maintenabilité.....	50
Figure III.7. La Courbe de disponibilité instantanée.....	52
Figure III .8. La Courbe d'ABC.....	54

Liste des Tableaux

Les tableaux de Chapitre I

Tableau. I. 1 Comparaisons entre les différentes méthodes de maintenance préventive [14]...	12.
Tableau. I. 2 Types des maintenances.....	13.

Les tableaux de Chapitre III

Tableau 0.1. Historique de pannes de la GEP301 A.....	40
Tableau III-2-Estimation de la fonction de répartition.....	42
Tableau III-3-Les paramètres de calcul de fiabilité.....	43
Tableau III.4.La comparaison entre la fonction de répartition réelle et la fonction de répartition théorique.....	46
Tableau III.5:Calculs de la fiabilité, du temps de défaillance et de la densité de probabilité.....	48
Tableau III.6.calcul de La maintenabilité	53
III 7.Tableau de disponibilité instantané.....	56
Tableau III .8.L'analyse ABC (Pareto).....	58

Résumé

La maintenance industrielle est un moyen efficace pour améliorer la disponibilité des systèmes électromécaniques et le profit économique de l'industries.

L'objectif principal de notre travail est d'étudier et améliorer la sureté de fonctionnement d'un système électromécanique choisi a un rôle très important au sein d'une entreprise .

Le choix de ce système permet d'extraire leur historique de panne qui nous facilitera de calculer les temps de bon fonctionnement.

L'amélioration de la sureté de fonctionnement peut être fait par la progression de l'un de leurs paramètres tels que la fiabilité, disponibilité, sécurité et la maintenabilité.

ملخص

الصيانة الصناعية هي وسيلة فعالة لتحسين توافر الأنظمة الكهروميكانيكية و الفائدة الاقتصادية للصناعات .

الهدف الرئيسي لعملنا هو دراسة و تحسين السلامة التشغيلية لنظام كهر وميكانيكي مختار له دور مهم للغاية داخل الشركة.

جعل اختيار هذا النظام من الممكن استخراج تاريخ العطب الذي سيسهل لنا حساب وقت العمل الجيد.

يمكن تحسين السلامة التشغيلية من خلال تطوير أي من معاييرها مثل الموثوقية و التوافر و السلامة و قابلية الصيانة

Summary

Industrial maintenance is an effective way to improve the availability of electromechanical systems and the economic benefit of industries.

The main objective of our work is to study and improve the operational safety of a chosen electromechanical system which has a very important role within a company.

The choice of this system made it possible to extract their failure history which will facilitate us to calculate the uptime.

Improving operational safety can be done by advancing any of their parameters such as reliability, availability, safety and maintainability.

Les mots clés

Maintenance , Fiabilité , Sûreté, Disponibilité, Maintenabilité, Sécurité

Introduction Générale

L'exploitation des équipements de l'entreprise d'une manière efficace est pour progresser la qualité et le coût du produit et renforcer la production.

Pour atteindre cet objectif, il faut une bonne gestion de la maintenance des équipements et en prenant en considération les aspects techniques, économiques et financiers des différentes méthodes utilisées. La maintenance est un champ d'action avantagé de la recherche du développement les performances des installations industrielles.

Le rôle de cette dernière est de choisir une politique appropriée en prenant en considération l'aspect technique, économique et financier, des différentes méthodes en vue d'améliorer la fiabilité, la disponibilité, la maintenabilité et la sécurité (les paramètres de la sûreté de fonctionnement) des systèmes électromécaniques. Pour améliorer le niveau de sûreté de fonctionnement des systèmes électromécaniques, il faut optimiser au minimum un paramètre parmi les quatre paramètres de cette dernière. Dans notre travail, nous allons baser à améliorer la fiabilité d'un système électromécanique choisi par une proposition du plan de maintenance préventive systématique.

Pour atteindre cet objectif notre mémoire est structuré en trois chapitres dans les lignes directrices sont donnés ci-après: Le premier chapitre est consacré à définir la maintenance d'une part et à classer les différents types de maintenance d'une autre part.

Le deuxième chapitre présente le définition et les élément de la sûreté de fonctionnement .

Le troisième chapitre montre la théorie de l'analyse FMD (fiabilité, maintenabilité et disponibilité), la partie spéciale de notre travail dont on va illustrer l'estimation et l'amélioration de la fiabilité de la machine choisie par une proposition d'un plan de maintenance préventive systématique.

Chapitre I

Généralités sur la maintenance

I.1 Introduction :

Le monde industriel et le monde des transports disposent de machine et d'installation de plus en plus performante et complexe, les exigences de haute sécurité, la réduction des couts d'exploitation et la maitrise de la disponibilité des équipements donnent à la maintenance des systèmes, un rôle prépondérant, elle doit permettre de n'intervenir qu'en présence d'éléments défectueux, de minimiser le temps de réparation, et de fournir un diagnostic fiable et facilement interprétable malgré la complexité des équipements.

Nous nous intéressons principalement aux transmissions des puissances mécaniques utilisées dans différents domaines tel que l'industrie: l'aéronautique, outils nièces, l'automobile et les transports ferroviaires.

La maintenance de ces systèmes de transmission occupe un temps relativement important par rapport à leur temps d'utilisation, actuellement la recherche scientifique vise à développer les s'aires à l'optimisation de la maintenance de tels systèmes.

I.2. Définition de la maintenance :

Selon la norme française NF EN13306, la maintenance est l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise.

L'activité actuelle de la maintenance s'inscrit dans un cadre de participation à la réalisation des objectifs de productivité, de rentabilité et de croissance de l'entreprise.

R. Sarker, A. Haque, [1]; présentent la fonction maintenance comme un ensemble d'activités regroupées en deux sous-ensembles : les activités à dominante technique et les activités à dominante gestion (voir figure I.1).

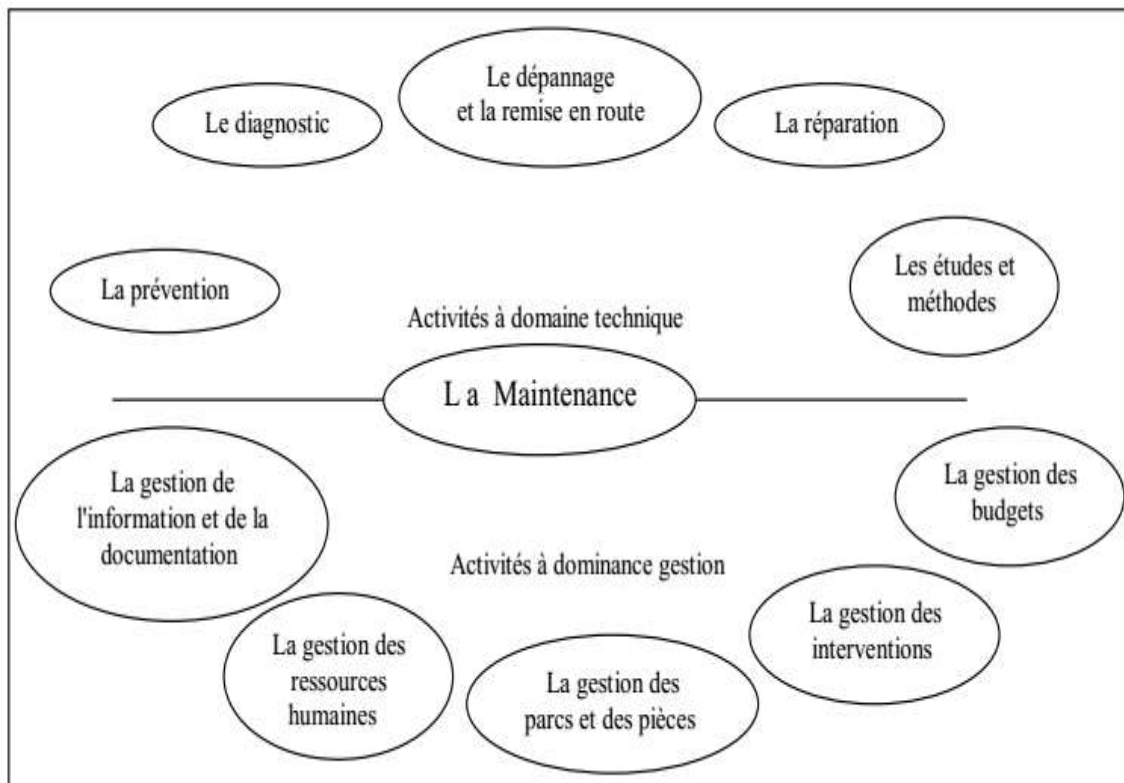


Fig I.1: le contenu de la fonction maintenance-

I.3. Les objectifs de la maintenance :

I.3.1. Garantie la production prévue :

La planification de la production doit être étudiée conjointement par l'entretien et la production en conciliant les arrêts nécessaires à l'entretien préventif et les recommandations du manufacturier tout en s'ajustant aux programmes de fabrication.

I.3.2. Amélioration de la qualité du produit :

La qualité dépend autant de la production que de l'entretien; chacune de ces fonctions aura à rendre compte en cas de baisse de productivité de l'entreprise: erreur d'opération ou défaillance de la machine, matière première défectueuse ou dérèglement de la machine, etc.

I.3.3. Contribuer au respect des délais :

Il ya une double responsabilité au niveau de l'entretien: on doit connaître exactement l'état des équipements (pièce de rechanges, historique des pannes, intervenants, caractéristiques techniques, stock pièces de rechanges disponible etc.).

I.3.4. Recherche des coûts optimaux :

Mis à part les compétences techniques, le service d'entretien doit être capable d'établir des devis précis et des estimés de coûts reliés aux travaux de maintenances.

I.3.5. Assurance de la sécurité des travailleurs et la qualité du milieu de travail :

Le service de maintenance doit se préoccuper des accidents que les interventions peuvent occasionner d'une part, pour ses propres tâches (méthode de travail, consignes de sécurité, cadenas sage, etc.).

I.3.6. Respecter l'environnement :

Au service de maintenance incombe souvent le contrôle des polluants et le rejet des contaminants dans l'environnement. Il n'est pas rare que le matériel non productif mais nécessaire soit négligé (exemple: système de recyclage, dépoussiéreur, filtre, etc.)[2].

I.4. La fonction maintenance :

La mission principale de la fonction maintenance est le maintien par des actions préventives et correctives de la disponibilité de l'outil de production; c'est-à-dire de son aptitude à accomplir une fonction requise, dans des conditions d'utilisation données, pendant une période donnée par les normes AFNOR[3] .

Autrement dit, la mission principale de la maintenance est la gestion optimisée des équipements de production en fonction des objectifs propres à l'entreprise [4].

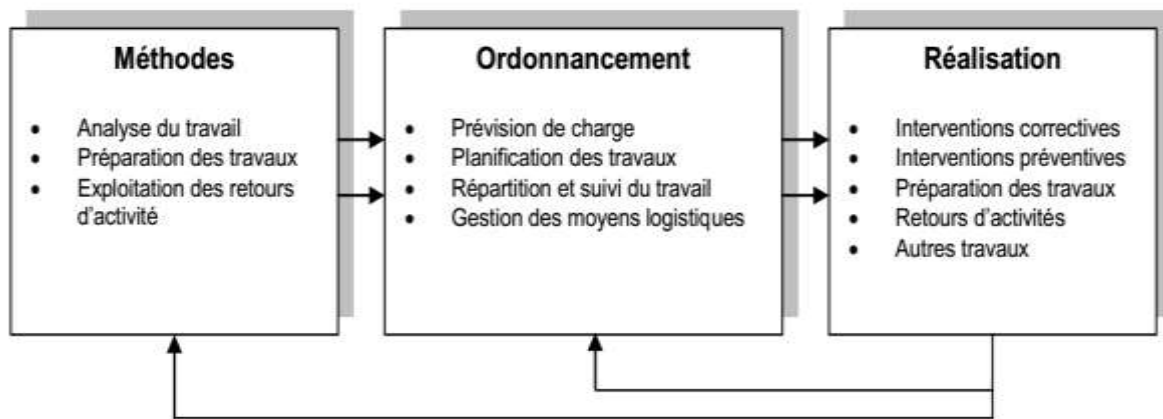


Fig I. 2: Les trois fonctions opérationnelles de la maintenance.

I.5. Mise en œuvre d'une politique de maintenance :

Dans la définition de la maintenance, nous trouvons deux mots-clés : maintenir et rétablir.

La norme européenne EN 13306, [5] « Terminologie de la maintenance » définit les différentes classes en maintenance.

Le premier fait référence à une action préventive, le deuxième fait référence à l'aspect correctif. On peut résumer les différentes politiques de maintenance selon la Figure I.3 Une bonne synthèse de ces différentes stratégies de maintenance se trouve par exemple dans [6] et [7].

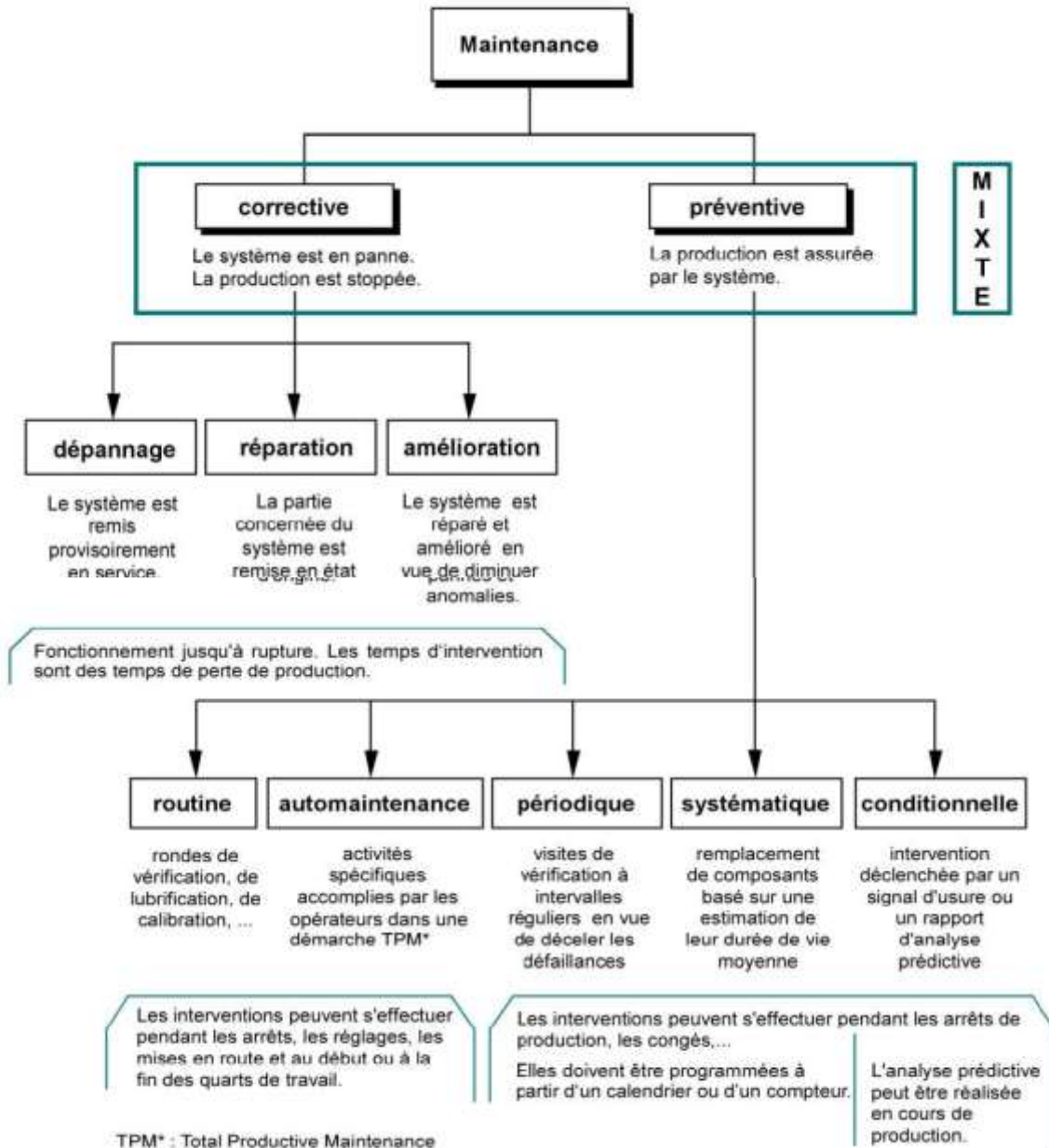


Fig I. 3: Exemple de politiques de maintenance.

La Figure I.3 propose d'incorporer une démarche TPM « *Total Productive Maintenance* » au sein d'un plan d'action « *terrain* ». Cette démarche est une démarche de management organisationnel, de changement de comportement et de responsabilité.

Indépendante de la taille de l'entreprise, son objectif est d'amener les processus de fabrication à leur rendement maximal en tentant d'éliminer les dysfonctionnements potentiels, [8].

I.6. Les différents types de la maintenance :

I.6.1. Maintenance corrective ou réactive :

Dans la littérature, la maintenance corrective et la maintenance réactive sont identiques.

Cette maintenance est exécutée après détection d'une panne ou d'une défaillance (Figure 4). Elle est destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise.

Pratiquement, c'est faire fonctionner sans entretien un système jusqu'à la « rupture ou la panne » de ce dernier. Nous constatons que les activités de maintenance corrective sont subies et découlent directement des conséquences de l'apparition d'une défaillance. Ces activités englobent deux types d'intervention :

- les interventions palliatives qui remettent le système en état de fonctionnement provisoire,
- les interventions curatives permettant de réparer le système d'une manière définitive. C'est une « politique de maintenance » (dépannage ou réparation) qui correspond à une réactivité, à des événements plus ou moins aléatoires et qui s'applique après la panne.

C'est un choix politique de l'entreprise qui malgré tout, nécessite la mise en place d'un certain nombre de méthodes qui permettent d'en diminuer les conséquences, [8].

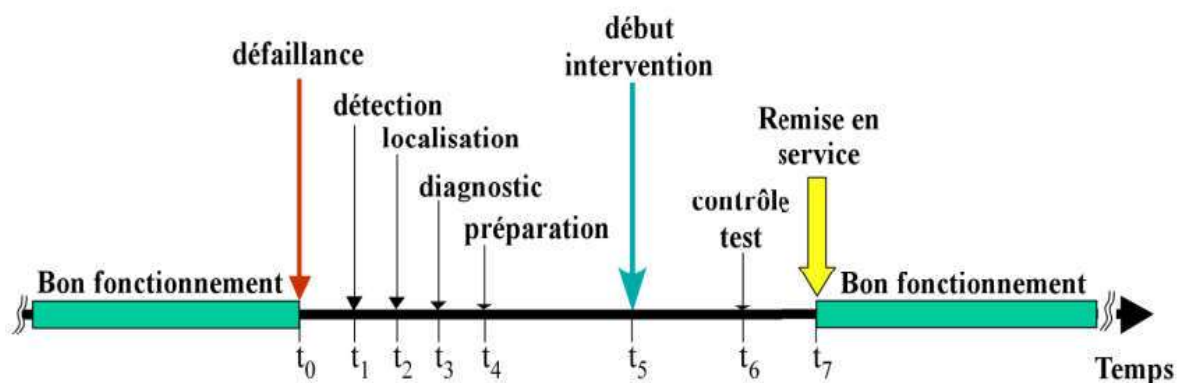


Fig I. 4: Processus de déroulement d'une maintenance corrective sur un système ou un équipement, [8].

I.6.2. Maintenance préventive :

Dans une stratégie de maintenance globale, il faut tendre vers une diminution des dépannages et des réparations au profit d'activités d'amélioration mais surtout d'entretien préventif structuré. Une synthèse des politiques de maintenance préventive est donnée par Rausand et al. [9]. La maintenance préventive peut se réaliser de diverses façons et comprend généralement :

Maintenance préventive systématique, Maintenance préventive conditionnelle, Maintenance préventive prévisionnelle.

I.6.2.1. 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. Aucune intervention ne peut avoir lieu avant l'échéance prédéterminée, [10].

L'optimisation d'une maintenance préventive systématique consiste à déterminer au mieux la périodicité des opérations de maintenance sur la base du temps, du nombre de cycles de fonctionnement, du nombre de pièces produites... etc.

I.6.2.2. 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. 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. Cependant, la maintenance systématique est coûteuse car l'usure des pièces dépend beaucoup des conditions de fonctionnement. Elle risque donc d'intervenir trop tôt ou trop tard, [12].

I.6.2.3. Maintenance préventive conditionnelle :

La norme AFNOR X 60-010 définit la maintenance conditionnelle ainsi : « les activités de maintenance conditionnelle sont déclenchées suivant des critères prédéterminés significatifs de l'état de dégradation du bien ou du service », Donc il n'y a plus d'échéancier mais plutôt un événement, une condition, le franchissement d'un seuil, qui provoque l'intervention. Le signal peut être donné par un capteur décelant une dérive de comportement (élévation de

température, modification du niveau vibratoire, fuite, usure, etc....) comme il est montré sur la (figure I.5) à tout type de système pour lequel un capteur arrive à détecter une anomalie et c'est d'ailleurs grâce au développement de la technologie de ces capteurs que cette forme de maintenance a pu faire de tels progrès ces vingt dernières années , [13]. Comme elle peut être appliquée suite d'une inspection ou d'un contrôle. Ainsi, le système n'est arrêté que lorsqu'il existe une certaine probabilité de défaillance, définie par l'analyse de niveaux d'indicateurs issus de mesures et établis en permanence au cours du fonctionnement. Cette méthode présente donc l'avantage d'éviter la surprise du dysfonctionnements.

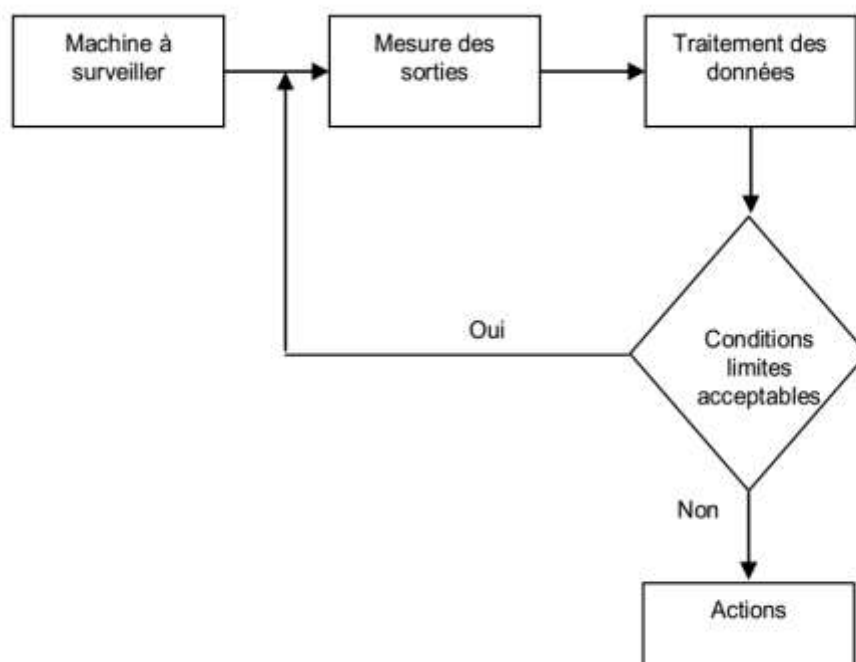


Fig I. 5: Structure de la maintenance conditionnelle, [12].

I.6.2.4. Principe de la maintenance conditionnelle :

La maintenance préventive conditionnelle est définie comme étant celle que l'on réalise uniquement lorsque l'état du bien le nécessite, [14]. La conséquence immédiate est qu'il est nécessaire de savoir mettre en place des techniques de surveillance de l'état du bien (fiabilité technique et économique) et surtout d'être capable de qualifier de façon précise l'état de ce bien. Cette opération nécessite de procéder au préalable au choix d'un certain nombre d'indicateurs de surveillance, issus d'un paramètre ou d'une grandeur plus ou moins élaborée dont l'acquisition est le plus souvent possible en fonctionnement. La (figure I.6) illustre le principe de ce type de maintenance conditionnelle, [11].

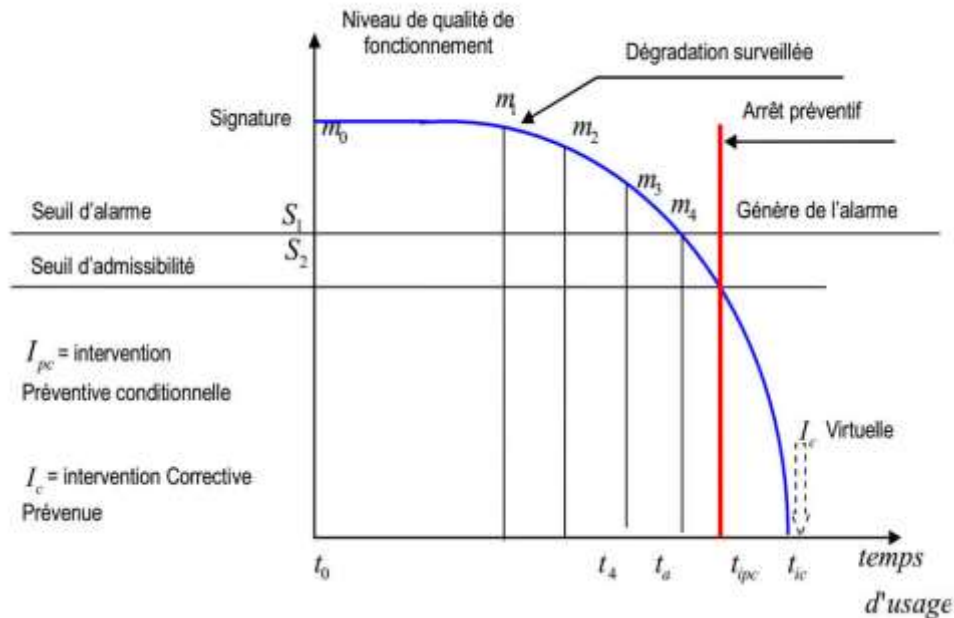


Fig I. 6: Principe de la maintenance conditionnelle,[10].

I.7. 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, [11].

• 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.

• 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.

I.8. Choix des outils de surveillance :

Toutes les méthodes présentées dans les paragraphes précédents, ne permettent pas de voir les mêmes types de défauts, ni de réaliser un diagnostic approfondi pour en connaître l'origine et la gravité du défaut.

En effet, chaque méthode possède son champ d'application privilégié. Le (tableau I.1) montre des comparaisons entre les différentes méthodes de maintenance préventive.

Tableau. I. 1 Comparaisons entre les différentes méthodes de maintenance préventive [14]

	Principaux avantages	Champs d'applications Privilégiée	Principales Limitations
Analyse vibratoire	Détection des défauts à un stade précoce, possibilité de réaliser un diagnostic approfondi, autorise une surveillance continue, permet de surveiller l'équipement à distance	Détection des défauts de tous les organes cinématiques de la machine (balourd, jeux, défauts d'alignement,...) et de sa structure	spectres parfois difficiles dans le cas de surveillance continue, installations relativement coûteuses
Analyse d'huiles	Détection d'une pollution anormale du lubrifiant, avant que celle-ci n'entraîne une usure ou un échauffement, Possibilité de connaître l'origine de l'anomalie par analyse des particules	Contrôle des propriétés physico-chimiques du lubrifiant, détection d'un manque de lubrification, analyse des éléments d'usure, analyse de contamination par le processus (étanchéité) ... etc.	Ne permet pas de localiser précisément le défaut, Nécessite de prendre de nombreuses précautions dans le prélèvement de l'échantillon.
Thermographie IR	Permet de réaliser un contrôle rapide de l'installation, Interprétation	Détection de tous les défauts engendrant un échauffement (manque de lubrification en	Détection de défauts à un stade moins précoce que l'analyse vibratoire;

	souvent immédiate des résultats.	particulier).	Contrôle limité à ce que 'voit' la caméra (échauffement de surface); Ne permet pas de réaliser un diagnostic approfondi
Analyse Acoustique	Permet de détecter l'apparition de défauts audibles, Autorise une surveillance continues	Détection d'un bruit inhabituel pouvant ensuite être analysé par analyse vibratoire	Sensibilité au bruit ambiant, Diagnostic souvent difficile à réaliser, Problèmes de répétitivité des mesures

Tableau. I. 2 Types des maintenances

Type	Corrective	Systématique	Conditionnelle
Conditions d'intervention	Fonctionnement jusqu'à la rupture	Basée sur l'estimation de la durée de vie moyenne du composant	Intervention conditionnée par la dérive d'un paramètre significatif

Aide au diagnostic	Les outils utilisés ne servent qu'à déterminer la cause de la panne	Ajuster les échéanciers en fonction des états d'usure constatés	Analyse de l'évolution des paramètres de fonctionnement et le diagnostic sur l'origine du défaut
Application	Machines doublées, panne acceptable et imprévisible	Graissage, petites pièces et impossibilité d'obtenir des mesures fiables	Machines stratégiques, à problème et risque de panne dangereuse
Durée de vie d'un Organe	Rupture	Remplacement	Détection de défaut, analyse de tendance et réparation programmée
Coûts	Coûte cher en perte de production et en sécurité	Coûte cher en matériel	Optimise les coûts des matériels au plus près de la rupture et augmente la productivité par la programmation des arrêts nécessaires

I.9. Les opérations de la maintenance :

Les différentes opérations de la maintenance sont montrées ci-dessous:

I.9.1. Les opérations de maintenance préventive :

❖ **Les inspections :** Ce sont des activités de surveillance qui consistent à relever périodiquement des anomalies et exécuter des règles simples ne nécessitant pas d'outillage spécifique ou d'arrêt de l'outil de production ou des équipements.

❖ **Les visites :** C'est une opération de surveillance, se situant dans le cadre d'action de Maintenance préventive, elle peut consister en un examen détaillé et approfondi d'une partie ou de l'ensemble du système suivi.

❖ **Les contrôles :** Vérifications de conformité par rapport à des données préétablies suivies d'un jugement.

Le contrôle peut :

- Comporter une activité d'information ;
- Inclure une décision : acception, rejet, ajournement ;
- Déboucher comme les visites sur des opérations de maintenance corrective.

I.9.2. Les opérations de maintenance corrective :

❖ **Le dépannage :** Actions physiques exécutées pour permettre à un bien en panne d'accomplir sa fonction requise pendant une durée limitée jusqu'à ce que la réparation soit exécutée. Le dépannage n'a pas de conditions d'applications particulières. La connaissance du comportement du matériel et des modes de dégradation n'est pas indispensable même si cette connaissance permet souvent de gagner du temps.

❖ **La réparation :** Actions physiques exécutées pour rétablir la fonction requise d'un bien en panne. L'application de la réparation peut être décidée soit immédiatement à la suite d'un incident ou d'une défaillance, soit après un dépannage, soit après une visite de maintenance préventive conditionnelle ou systématique.

❖ **Les révisions :** Ensemble des actions et examens de contrôle et d'intervention effectuée en vue d'assurer le bien contre toute défaillance majeure ou critique, pendant un temps ou pour nombre d'unités d'usage donné[15].

I.10. Evolution de la maintenance :

Au fil du développement de la concurrence et de la course à la compétitivité qui entraîne la recherche de la qualité totale et surtout la réduction des coûts, au fur et à mesure de la complexification et de l'automatisation des processus de production, la maintenance est devenue une des fonctions stratégiques de l'entreprise. Loin d'être aujourd'hui stabilisée, elle évolue au gré des nouvelles technologies de l'information et de communication NTIC, l'introduction de nouvelles méthodes de gestion, du développement technologique des outils

de production, en particulier dans les domaines de la mesure et du contrôle de fonctionnement, de la systématisation progressive, de l'usage des normes et des procédures [16].

I .11.conclusion

Dans ce chapitre, nous avons défini la maintenance et ses méthodes ensuite nous avons exposé les opérations de la maintenance curative et la maintenance préventive systématique d'une part et les techniques de maintenance préventive conditionnelle. A la fin, nous avons vu les différentes tâches de la maintenance. Dans le chapitre suivant, on va étudier la sûreté de fonctionnement et leurs paramètres

Chapitre II

La sûreté de fonctionnement

II.1 Historique :

La sûreté de fonctionnement comme science, regroupe les techniques de fiabilité, de disponibilité, de maintenabilité et de sécurité. Elle s'est développée tardivement par rapport à d'autres techniques classiques de l'ingénieur. En fait c'est au début de l'ère industriel dans les années 30 et avec l'expansion du chemin de fer, que commençaient les études reliées à la sûreté des systèmes dans le domaine mécanique et celles-ci s'intéressaient à l'époque à l'étude des roulements à billes.

L'apparition de l'électricité a aidé au développement des techniques de sûreté et notamment la fiabilité des équipements et des systèmes électriques. Le développement de l'aéronautique par après a contribué considérablement à l'amélioration des concepts de la fiabilité, en introduisant la notion du : recueil des données statistiques sur les fréquences des pannes de divers équipements utilisés dans l'aviation.

Ce n'est que dans les années 40 et pendant la seconde guerre mondiale que les techniques de sûreté de fonctionnement ont été élaborées et les premiers modèles de fiabilité prévisionnelle ont vu le jour en Allemagne par la suite des échecs du lancement des missiles V1. En même temps aux États-Unis on s'intéressait à cette époque à deux composants : l'amélioration de la qualité par une meilleure conception et l'amélioration de la vie utile des composants par le contrôle,

c'est ainsi que Général Motors a augmenté la durée de vie de ses moteurs d'attraction de 250 000 miles à 1 000 000 de miles.

Dans les années 50 et notamment aux États-Unis, les études de fiabilité ont été poussées notamment dans le domaine militaire suite au développement inattendu des équipements électroniques surtout militaires, de plus en plus complexes ce qui a généré des taux de pannes fréquents, une disponibilité réduite et des coûts de maintenance très élevés.

Dans les années 60, les études de sûreté se sont consacrées essentiellement au développement des techniques reliées à la fiabilité et leurs élargissements à diverses applications. C'était le début des analyses détaillées relatives aux défaillances de composants et à leurs effets sur le fonctionnement des systèmes ou sur la sécurité des biens et des personnes dans plusieurs domaines et, essentiellement, dans le domaine nucléaire où les études de fiabilité prévisionnelles étaient développées. Ces notions s'étalèrent par la suite d'autres domaines comme l'aéronautique vers la fin des années 60.

Au début des années 70 et pendant les années 80, les méthodes de prévision de fiabilité ont continué à se développer et s'intéressaient aux risques liés à des installations industrielles.

Dans le domaine nucléaire et pétrochimique, plusieurs études ont porté sur la sécurité des populations et le risque que présentent ces industries dans plusieurs pays et notamment aux États-Unis, en France et en Angleterre.

Dans les grandes usines de production et essentiellement au Japon, de nouvelles techniques comme les cercles de qualité, ont été introduites afin d'améliorer la fiabilité et la qualité des produits. C'est à cette époque aussi que plusieurs travaux ont été effectués sur la fiabilité des logiciels.

À partir du milieu des années 80 et suite à l'extension des usines de production, la concurrence et la complexité des produits d'une part et le nombre élevé des accidents, d'autre part, ont amené à considérer comme primordiales les études de fiabilité, de maintenabilité, de disponibilité et de sécurité des produits, des systèmes et de personnes. Ce qui a donné naissance à la Science de la sûreté de fonctionnement qui a pour but de mesurer la qualité de service, délivrée par un système, de manière à ce que l'utilisateur ait en lui une confiance justifiée. Cette confiance justifiée s'obtient à travers les analyses qualitatives et quantitatives des différentes propriétés du service délivré par le système. [17].

II . 2 Définition :

Aujourd'hui, la sûreté de fonctionnement fait partie des enjeux majeurs qui intéressent les constructeurs dans les différents secteurs (l'automobile, l'aéronautique, le nucléaire, la défense...). L'évolution exponentielle de la technologie a fait accroître la complexité des systèmes et elle a réduit davantage leurs coûts de conception et de fabrication. Dans cette perspective, les fabricants s'appuient sur le critère de la qualité pour se faire distinguer sur le marché. Pour cela, ils doivent maîtriser les différents outils qui leurs permettent de garder leur place compétitive et doivent adopter des actions d'amélioration à tous les niveaux. Toutes ces raisons font de la sûreté de fonctionnement le moyen incontestable qui doit être maîtrisé lors de la conception de tout système.

Ce concept est défini selon MORTUREUX [18] comme étant un ensemble de moyens et un ensemble de résultat produits par ces moyens. Pour un système, cette notion est considérée comme la caractéristique d'un système qui permet de placer en lui une confiance justifiée.

Cette confiance repose sur un ensemble de démarches et s'exprime par un ensemble de caractéristiques, en particulier des disponibilités et de la sécurité.

Selon VILLEMEUR [19] la sûreté de fonctionnement est considérée comme l'aptitude d'une entité à assumer une ou plusieurs fonctions requises dans des conditions données. Dans cette définition, l'entité peut désigner une organisation, un système, un produit ou un moyen et la fonction du système signifie les performances fonctionnelles attendues par celui-là. Il note également que ce concept englobe principalement la fiabilité,

la disponibilité, la maintenabilité et la sécurité (FDMS) mais aussi d'autres aptitudes telles que la durabilité, la testabilité... ou encore des combinaisons de ces aptitudes. Au sens large, cette notion réfère à la science des défaillances et des pannes.

D'autre part, LAPRIE [20] dit que la sûreté de fonctionnement est la propriété qui permet aux utilisateurs du système de placer une confiance justifiée dans le service qu'il leur délivre. Donc selon cette définition, La sûreté de fonctionnement traduit la confiance qu'on peut accorder à un système

II .3 Concepts fondamentaux :

Les concepts fondamentaux de la sûreté de fonctionnement sont habituellement illustrés par l'arbre de la sûreté de fonctionnement. Ceux-ci comprennent les notions de fiabilité, de disponibilité, de maintenabilité et de sécurité.

II . 3.1 Fiabilité

II.3.1.1 Définition

La fiabilité est l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, pendant un intervalle de temps donné. Il est généralement admis que l'entité est en état d'accomplir la fonction requise au début de l'intervalle de temps donné

(Villemeur,1991).

Selon les circonstances, la fiabilité peut être évaluée à l'aide d'un ensemble de critères :

- la probabilité, notée $R(t)$, que l'entité soit non-défaillante sur l'intervalle de temps $[0,t[$, sachant qu'elle n'était pas
- défaillante à $t= 0$.

- la probabilité, notée $F(t)$, pour que l'entité fasse l'objet d'une défaillance sur un intervalle de temps donné. Pour une entité à 2 états :

$$f(t) = 1 - R(t) \quad (\text{II.01})$$

- le temps moyen avant la première défaillance, noté MTTF (« Mean Time To Failure » en anglais),

$$\text{MTTF} = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (\text{II.02})$$

- le taux de défaillance instantané, noté $\lambda(t)$, qui se définit par (Villemeur, 1991) :

$$\lambda(t) = \frac{-\frac{dR(t)}{dt}}{R(t)} \quad (\text{II.03})$$

Dans la pratique, $\lambda(t)$ est calculé par (Villemeur, 1991):

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} \frac{P(\text{entité soit défaillance entre } t \text{ et } t + \Delta t \text{ et non défaillance sur } [0; t])}{P(\text{entité soit non défaillance sur } [0; t])}$$

La courbe représentant le taux de défaillance $\lambda(t)$ a l'allure d'une « baignoire » (Figure 2). Celle-ci permet d'illustrer les 3 périodes de la vie d'un système (Kumamoto & Iey, 1996) : la période de déverminage, la période de vie utile et la période de vieillissement. [21].

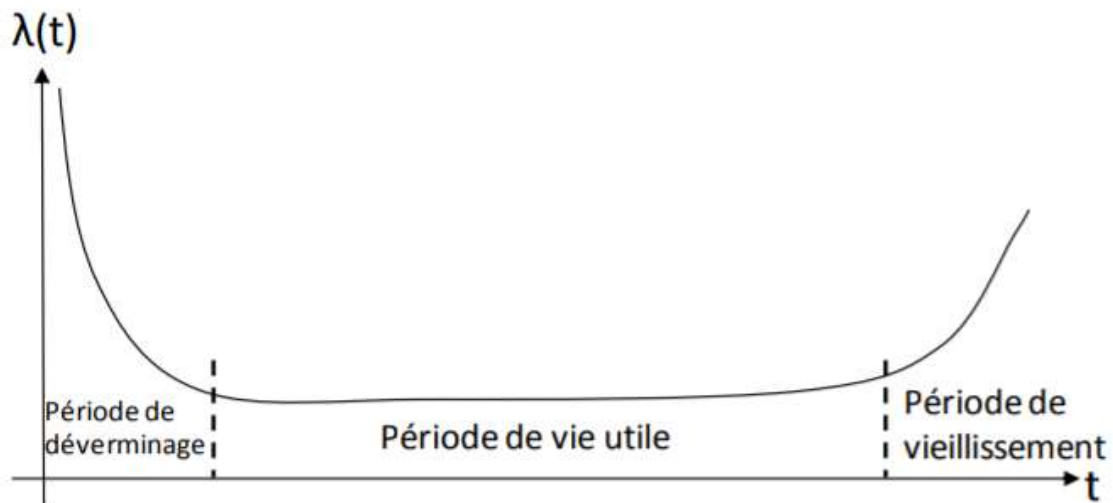


Figure II.1: Evolution du taux de défaillance d'un système.

II . 3.1.2 Les principales lois

La fiabilité est, de plus en plus fréquemment, une grandeur quantitative et nécessite la connaissance des distributions de durée de vie afin de l'estimer.

Nous présentons dans cette section les lois et les modèles de fiabilité susceptibles, selon l'expérience, de représenter des distributions de durée de vie qui interviennent le plus fréquemment dans l'analyse de la sûreté de fonctionnement. Nous rappelons les principales propriétés de ces lois, les fonctions associées, les densités de probabilité ainsi que les taux de défaillance [22].

❖ On distingue deux types

- Lois discrètes
- Lois continues

II .3.1.2.1 Lois discrètes :

Une loi est dite discrète si elle prend ses valeurs dans \mathbf{N} c'est à dire des valeurs entières comme par exemple celle qui compte le nombre de pannes.

Parmi les lois discrètes on peut citer :

II .3.1.2.1.1 Loi uniforme :

Une distribution de probabilité suit une loi uniforme lorsque toutes les valeurs prises par la variable aléatoire sont équiprobables. Si n est le nombre de valeurs différentes prises par la variable aléatoire. La fonction de fiabilité est définie par l'expression suivante :

$$p(x = x_i) = \frac{1}{n} \quad (\text{II.04})$$

Avec les paramètres de signification :

n : est le nombre de valeurs différentes prises par la variable aléatoire. [23].

II .3.1.2.1.2 Loi binomiale

Décrite pour la première fois par Isaac Newton en 1676 et démontrée pour la première fois par le mathématicien suisse Jacob Bernoulli en 1713, la loi binomiale est l'une des distributions de probabilité les plus fréquemment rencontrées en statistique appliquée.

En mathématiques, une loi binomiale de paramètres n et p est une loi de probabilité qui correspond à une expérience aléatoire à deux issues possibles, généralement dénommées respectivement « succès » et « échec », la probabilité d'un succès étant p . [23].

Sa fonction de probabilité est :

$$P(K) = P(x = K) = C_k^n P^k q^{n-k} \quad (\text{II.05})$$

$$C_k^n = \frac{n!}{k!(n-k)!} \quad (\text{II.06})$$

Avec les paramètres de signification :

- $(n \geq 0)$: Nombre d'épreuves.
- $(0 \leq p \leq 1)$: probabilité de succès.

et $q = 1 - p$.

II .3.1.2.1.3 La loi binomiale négative

La loi binomiale négative est la loi de probabilité de la variable aléatoire X qui comptabilise le nombre d'échecs nécessaires avant obtention de n succès, sachant que la probabilité d'un succès est p [25]

Sa fonction de probabilité est :

$$P(X = K) = f(k, n, p) = C_k^{k+n} P^n q^k \quad (\text{II.07})$$

La loi binomiale négative peut aussi s'écrire sous la forme : $f(k, n, p) = C_k^{-n} P^n (-q)^k$ Où C_k^{-n} est un coefficient binomial appliqué à un entier négatif et est défini par :

$$C_k^{-n} = \frac{(-n)(-n-1)\dots(-n-k+1)}{k!} \quad (\text{II.08})$$

Cette expression justifie le nom de loi binomiale négative donnée à cette loi de probabilité

II .3.1.2.1.4 Loi de Bernoulli

Soit un univers constitué de deux éventualités, S pour succès et E pour échec = $\{E, S\}$ sur lequel on construit une variable aléatoire discrète, « nombre de succès » telle que au cours d'une épreuve :

Si (S) est réalisé, $X = 1$

Si (E) est réalisé, $X = 0$

L'expression de la fonction de fiabilité s'écrit :

$$\begin{aligned} P(X = 0) &= q \\ P(X = 1) &= p \\ (p + q) &= 1 \end{aligned} \quad (\text{II.09})$$

II .3.1.2.1.5 Loi géométrique

La loi géométrique est une loi de probabilité apparaissant dans de nombreuses applications. La loi géométrique de paramètre p ($0 < p < 1$) correspond au modèle suivant :

On considère une épreuve de Bernoulli dont la probabilité de succès est p et celle d'échec $q = 1 - p$.

On renouvelle cette épreuve de manière indépendante jusqu'au premier succès. On appelle X la variable aléatoire donnant le rang du premier succès. [25].

Les valeurs de X sont les entiers naturels non nuls 1, 2, 3, ...

La probabilité que $X = k$ est alors, pour $k = 1, 2, 3, \dots$

Sa fonction de probabilité est :

$$p(k) = q^{k-1}p \quad (\text{II.10})$$

II .3.1.2.1.6 Loi hypergéométrique

Une loi hypergéométrique de paramètres n , p et A correspond au modèle suivant:

On tire simultanément n boules dans une urne contenant p_A boules gagnantes et q_A boules perdantes (avec $q = 1 - p$). On compte alors le nombre de boules gagnantes extraites et on appelle X la variable aléatoire donnant le nombre de boules gagnantes. Sa fonction de probabilité :

L'univers $X(\Omega)$ est l'ensemble des entiers de 0 à n . La variable aléatoire suit une loi de probabilité définie par

$$p(k) = \frac{c_{p_a}^k c_{q_a}^{n-k}}{c_a^n} \quad (\text{II.11})$$

II .3.1.2.1.7 Loi de Poisson

Une variable aléatoire x suit une loi de « Poisson » si elle peut prendre les valeurs entières 0, 1, 2, 3..... n . La probabilité pour que x soit égal à k est :

$$(x = n) = e^{-\lambda} \cdot \frac{\lambda^n}{n!} \quad (\text{II.12})$$

λ : paramètre de la loi (constante positive).

Relation de Poisson

La probabilité pour qu'un événement se produise est d'autant plus vraie que la population concernée est grande et le nombre d'évènement petit.

Par conséquent la loi de Poisson servira à étudier les phénomènes rares, tels que les accidents, pannes, défauts de fabrication où la probabilité p est très faible ($p < 0.05$). Elle peut également dans certaines conditions être définie comme limite d'une loi binomiale.

La probabilité de constater un certain nombre de pannes (n) dans le temps (t) et seulement (n) pannes est :

$$P(x = n) = e^{-\lambda} \cdot \frac{\lambda^n}{n!} \quad (\text{II.13})$$

L'espérance mathématique est : λt .

La variance : λt .

L'écart type $\sigma = \sqrt{\lambda t}$.

II .3.1.2.2 Lois continues

II .3.1.2.2.1 La loi Gamma

La loi gamma est la loi de l'instant d'occurrence du $\alpha^{\text{ème}}$ évènement dans un processus de Poisson.

Soit $\{T\}$ le vecteur représentant les durées inter évènements (les temps entre les défaillances successives d'un système). Si ces durées sont des variables aléatoires indépendantes et identiquement distribuées selon une loi exponentielle de paramètre β , alors le temps cumulé d'apparition de ces défaillances suit une loi Gamma de paramètre (α, β) . Sa densité de probabilité s'écrit:

Sa fonction de densité de probabilité est

$$f(t) = \frac{\beta^\alpha t^{\alpha-1} e^{-\beta t}}{\tau(\alpha)} \quad t \geq 0, \alpha \geq 1 \text{ et } \beta \geq 0. \quad (\text{II.14})$$

II .3.1.2.2.2 Loi inverse gamma

Dans la Théorie des probabilités et en Statistiques, la distribution inverse-gamma est une famille de lois de probabilité continues à deux paramètres sur la demi-droite des réels positifs. Il s'agit de l'inverse d'une variable aléatoire distribuée selon une Distribution Gamma.

Sa fonction caractéristique est :

$$p(x) = \frac{\beta}{\tau(\alpha)} x^{-\alpha-1} e^{\left(\frac{-\beta}{x}\right)} \quad (\text{II.15})$$

Avec les paramètres de signification :

- $\alpha > 0$: paramètre de forme
- $\beta > 0$: paramètre d'échelle

II .3.1.2.2.3 La loi normale

Cette loi est aussi appelée loi de Gauss, en l'honneur du grand mathématicien allemand Karl Friedrich Gauss (1777-1855).

La loi normale est la loi statistique la plus répandue et la plus utile, elle est utilisée afin d'approcher des probabilités associées à des variables aléatoires binomiales possédant un paramètre 'n' très grand. Elle représente beaucoup de phénomènes aléatoires. De plus, de nombreuses autres lois statistiques peuvent être approchées par la loi normale, tout spécialement dans le cas

des grands échantillons.

Sa fonction de fiabilité est :

$$n(t) = \frac{n}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (\text{II.16})$$

Avec les paramètres de signification :

- μ : La moyenne.
- σ : L'écart type.
- n : Le nombre totale d'individus dans l'échantillon.

$n(x)$: Le nombre d'individus pour lesquels la grandeur analysée a la valeur x.

II .3.1.2.2.4 La loi Log-normale

La loi log-normale est une loi flexible étroitement liée à la loi normale. Une variable aléatoire continue, positive T est distribuée suivant une loi log-normale (ou loi de Galton ou loi de Gibart), notée par $LN(\mu; \sigma)$, si son logarithme est distribué suivant une loi normale.

Cette distribution est largement utilisée pour modéliser des données de vie, en particulier les défaillances par fatigue en mécanique [24].

_ La fonction de répartition est :

$$F(t) = \frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma} \right)^2} dx \quad (II.17)$$

_ La fonction de fiabilité est :

$$R(t) = \frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} \int_t^{\infty} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma} \right)^2} dx \quad (II.18)$$

_ La densité de probabilité d'une loi log-normale de paramètres positifs μ et σ est :

$$f(t) = \frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma} \right)^2}, t > 0 \quad (II.19)$$

_ Sa durée de vie moyenne est :

$$MTTF = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}} \quad (II.20)$$

_ Le taux de défaillance est :

$$\lambda(t) = \frac{e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma} \right)^2}}{t \int_0^{\infty} \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} f(t) dt} \cdot \quad (II.21)$$

II .3.1.2.2.5 Loi Bêta

Cette loi représente la probabilité pour qu'un matériel survive jusqu'à un instant t, quand on essaie n matériels. La loi Bêta a deux paramètres a et b: – la densité de probabilité

$$f(t) = \frac{\Gamma(a+b)}{\Gamma(a)\Gamma(b)} t^{a-1} \cdot (1 - t)^{b-1} \quad (II.22)$$

II .3.1.2.2.6 La loi de Weibull

La loi de Weibull, notée par $W(\eta; \beta; \gamma)$, est souvent utilisée en mécanique. Cette loi a l'avantage d'être très souple et de pouvoir s'ajuster à différents résultats d'expérimentations[24].

La distribution de Weibull est décrite par trois paramètres :

1. Le paramètre de position (ou de localisation) γ est, comme son nom l'indique, un paramètre qui régit la position d'une distribution de probabilité.
2. Le paramètre d'échelle η est un paramètre qui régit l'aplatissement d'une loi de probabilités. Il renseigne sur l'étendue de la distribution.
3. Le paramètre de forme β est un paramètre la forme de la distribution.

Elle est caractérisée par :

_ La fonction de répartition :

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{II.23})$$

_ La fiabilité :

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{II.24})$$

_ La densité de probabilité :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{II.25})$$

_ Le taux de défaillance :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (\text{II.26})$$

_ La moyenne des temps de bon fonctionnement :

$$\text{MTTF} = \gamma + \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (\text{II.27})$$

où Γ est la fonction gamma définie par :

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{+\infty} t^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad (\text{II.28})$$

En particulier, $\Gamma(n) = (n-1)!$ pour tout $n \in \mathbb{N}^*$

La variance :

$$\alpha^2 = \eta^2 \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \right]. \quad (\text{II.29})$$

Remarque 1.5.2

1. Le paramètre de position γ étant souvent nul, on se ramène à :

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{II.30})$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{II.31})$$

$$F(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}, \quad (\text{II.32})$$

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (\text{II.33})$$

2. Si $\beta < 1$; on obtient la distribution de Weibull à 2 paramètres dont les caractéristiques sont illustrées sur la Figure II.2

3. La distribution de Weibull permet donc de représenter les trois périodes de la vie d'un dispositif (courbe de baignoire). Elle caractérise bien le comportement du système dans

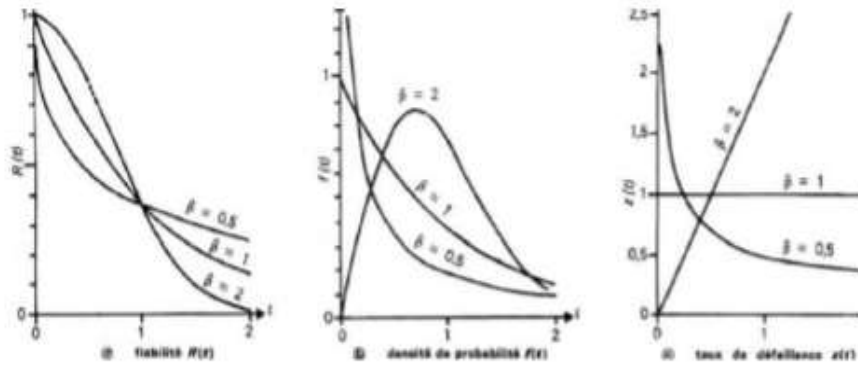


Figure II.2 : principales propriétés de la distribution de Weibull

les trois phases de vie selon la valeur du paramètre de forme β : période de jeunesse

si $\beta < 1$ (le taux de défaillance est décroissant), période de vie utile

si $\beta = 1$ (le taux de défaillance est constant) et période d'usure

ou vieillissement si $\beta > 1$ (le taux de défaillance est croissant).

II .3.1.2.7 Loi exponentielle

La loi exponentielle a de nombreuses applications dans plusieurs domaines. Elle décrit la vie des matériels qui subissent des défaillances brutales. Cette loi est la plus couramment utilisée en fiabilité électronique pour décrire la période durant laquelle le taux de défaillance des équipements est considéré comme constant (défaillance aléatoire).

Elle décrit le temps écoulé jusqu'à une défaillance, ou l'intervalle de temps entre deux défaillances. Elle est définie

par un seul paramètre (le taux de défaillance λ).

Une variable aléatoire T est de loi exponentielle de paramètre $\lambda > 0$, notée exp

(λ), si et seulement si :

_ Sa fonction de répartition est :

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (\text{II.34})$$

_ Sa fiabilité est :

$$\begin{aligned} R(t) &= 1 - F(t) \\ &= e^{-\lambda t} \end{aligned} \quad (\text{II.35})$$

_ Sa densité est :

$$\begin{aligned} f(t) &= \dot{F}(t) \\ &= \lambda e^{-\lambda t} \end{aligned} \quad (\text{II.36})$$

_ Sa durée de vie moyenne est :

$$\begin{aligned} \text{MTTF} &= E[T] \\ &= \int_0^{+\infty} R(t) dt \\ &= \int_0^{+\infty} e^{-\lambda t} dt \\ &= \frac{1}{\lambda} \end{aligned} \quad (\text{II.37})$$

_ Son taux de défaillance est :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (\text{II.38})$$

Le taux de défaillance est donc constant, ce qui signifie que la loi exponentielle modélise les durées de vie de systèmes qui ne s'usent pas et qui ne s'améliorent pas. [24]

II .3.1.2.2.8 La Loi logistique

La loi logistique de paramètre μ et $s > 0$ est une loi de probabilité dont la densité est :

$$f(x) = \frac{e^{-\frac{x-\mu}{s}}}{s \left(1 + e^{-\frac{x-\mu}{s}} \right)^2} \quad (\text{II.39})$$

Sa fonction de répartition est :

$$F(x) = \frac{1}{1 + e^{-\frac{x-\mu}{s}}} \quad (\text{II.40})$$

Son nom de loi logistique est issu du fait que sa fonction de répartition est une fonction logistique.

II .3.1.2.2.9 La loi log-logistique

Dans la théorie des probabilités et en statistiques, la loi log-logistique (connue aussi comme la distribution de Fisk en économie) est une loi de probabilité continue pour une variable aléatoire non-négative. Elle est utilisée dans l'étude de la durée de vie d'événement dont l'intensité augmente d'abord pour ensuite décroître, comme par exemple pour la mortalité dû au cancer après diagnostique ou traitement. Elle est aussi utilisée en hydrologie pour modéliser le débit d'un cours d'eau ou le niveau des précipitations, et en économie pour modéliser l'inégalité des revenus.

La loi log-logistique est la loi d'une variable aléatoire dont le logarithme est distribué selon une Loi logistique. Elle ressemble beaucoup à la loi log-normale, mais s'en distingue par des queues plus épaisses. Par ailleurs, sa fonction de répartition admet une expression explicite, contrairement à la log-normale

Sa fonction de répartition est :

$$\begin{aligned} F(x, \alpha, \beta) &= \frac{1}{1+(x/\alpha)^{-\beta}} \\ &= \frac{(x/\alpha)^\beta}{1+(x/\alpha)^\beta} \\ &= \frac{x^\beta}{\alpha^\beta + x^\beta} \end{aligned} \quad (\text{II.41})$$

Avec les paramètres de signification :

- Le paramètre $\alpha > 0$ est un paramètre d'échelle et joue aussi le rôle de médiane de la distribution.
- Le paramètre $\beta > 0$ est un paramètre de forme.

La distribution est uni modale lorsque $\beta > 1$ et sa dispersion décroît lorsque β augmente.

II .3.2 Disponibilité

II.3.2.1 Définition

C'est l'aptitude d'une entité à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données et à un instant donné

La disponibilité est généralement mesurée par la probabilité qu'une entité E soit en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données

à l'instant t.

$$A(t) = P [E \text{ non défaillante à l'instant } t]$$

Cette caractéristique est appelée disponibilité instantanée. L'aptitude contraire sera dénommée indisponibilité ; sa mesure est noté La disponibilité ainsi définie ne fait pas appel à l'histoire de l'entité, qu'elle ait été ou non réparée une ou plusieurs fois avant l'instant t (c'est en quelque sorte une probabilité non conditionnelle). Il est donc évident que pour un système non réparable, la disponibilité est égale à la fiabilité et que d'une façon générale $A(t) \geq R(t)$. La disponibilité peut se décliner en termes de fiabilité et maintenabilité [26].

II 3.2.2 Différents niveaux de la disponibilité

♣ Disponibilité intrinsèque théorique

Cette disponibilité est évaluée en prenant en compte les moyennes des temps de bon fonctionnement et les moyennes de réparations, ce qui donne :

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (\text{II.42})$$

♣ Disponibilité moyenne

La disponibilité moyenne sur un intervalle de temps donné peut-être évalué par les rapports suivants :

$$D_m = \frac{TCBF}{MCBF + TCI} \quad (\text{II.43})$$

TCI: Temps cumulé d'immobilisation

♣ Disponibilité opérationnelle

Pour cette mesure, sont pris en compte les temps logistiques, ce qui donne :

$$D_0 = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR + MTL} \quad (\text{II.44})$$

Avec :

MTL : moyenne des temps logistiques.

♣ **Disponibilité asymptotique**

Lorsque λ et μ sont indépendants de temps et quand (t) devient grand,

on constate que D (t) tend vers une valeur constante.

Cette valeur est souvent dénommée disponibilité asymptotique et se note A_{∞} est égale à :

$$A_{\infty} = \frac{\mu}{\mu + \lambda} \quad (\text{II.45})$$

Avec :

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} \quad (\text{II.46})$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \quad (\text{II.47})$$

♣ **Disponibilité instantanée**

Pour un système avec l'hypothèse d'un taux de défaillance λ constant et d'un taux de réparation μ constant, on montre que la disponibilité instantanée a pour expression :

$$D(t) = \frac{\mu}{(\mu + \lambda)} + \frac{\lambda}{\mu + \lambda} e^{-(\lambda + \mu)t} \quad (\text{II.48})$$

II .3.3La maintenabilité :

Dans des conditions données, la maintenabilité est l'aptitude d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état où il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits.

Maintenabilité = être rapidement dépanné

C'est aussi 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 données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits.

A partir de ces définitions, on distingue :

- **La maintenabilité intrinsèque** : elle est « construite » dès la phase de conception à partir d'un cahier des charges prenant en compte les critères de maintenabilité (modularité, accessibilité, etc.).

- **La maintenabilité prévisionnelle** : elle est également « construite », mais à partir de l'objectif de disponibilité.
- **La maintenabilité opérationnelle** : elle sera mesurée à partir des historiques d'interventions.

L'analyse de maintenabilité permettra d'estimer la MTTR ainsi que les lois probabilistes de maintenabilité (sur les mêmes modèles que la fiabilité). [25].

II. 3.4La sécurité

Bien que la norme [CEI 50 (191), 1990] n'intègre pas la sécurité comme composant de la sûreté de fonctionnement, nous considérons qu'il est important de la prendre en compte car l'occurrence d'un événement catastrophique met en péril la vie humaine.

En fait, le concept de sécurité est probablement le plus difficile à définir et à évaluer, car il englobe des aspects très divers. Cependant, la norme [EN 292 – 1, 1991] sur la sécurité des machines donne cette définition :

Aptitude d'une machine à accomplir sa fonction, à être transportée, installée, mise au point, entretenue, démontée et mise au rebut dans les conditions d'utilisation normales spécifiées dans la notice d'instructions, sans causer de lésions ou d'atteinte à la santé.

La sécurité peut également s'exprimer sous forme d'une probabilité que le système évite de faire apparaître, dans des conditions données, des événements critiques ou catastrophiques (Villemeur, 1988). Si on considère que les défaillances d'un système se partagent en deux catégories, celles qui sont dangereuses et celles qui ne le sont pas, la sécurité peut être considérée comme la part de la fiabilité relative aux défaillances dangereuses. Ce concept peut devenir prépondérant dans une analyse de sûreté de fonctionnement, dans la mesure où une défaillance du système peut présenter un risque de dommage corporel à l'encontre des usagers.

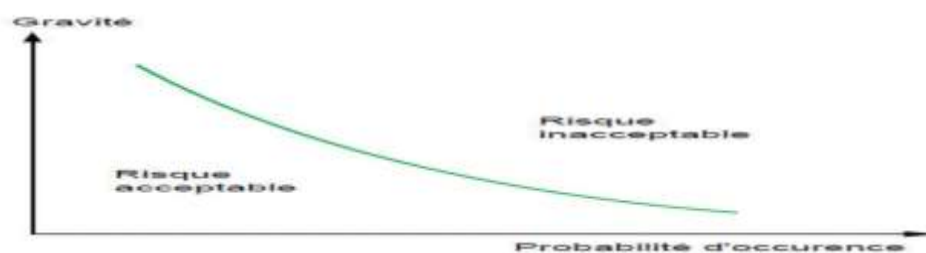


Figure II.3 : Le niveau de risque est fonction du couple : gravité, probabilité d'occurrence,

La Sécurité, se définit par l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise dans des conditions données sans provoquer d'événement catastrophique :

$$S(t) = \text{Probabilité \{E soit sans défaillance catastrophique sur } [0,t]\}$$

Les grandeurs caractéristiques de la sûreté de fonctionnement sont régies par un certain nombre d'interactions (Figure II.04)

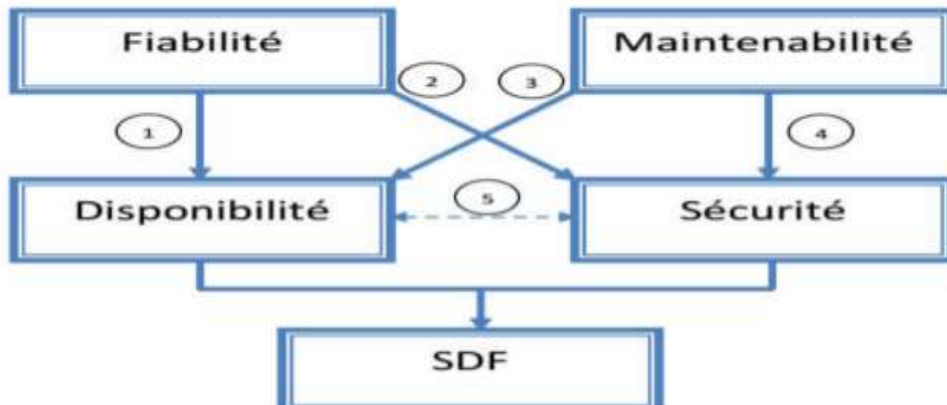


Figure II.04: Les interactions entre les grandeurs de la sûreté De fonctionnement(SDF) ,

La Figure II.04 montre que :

- une mauvaise fiabilité peut impliquer une mauvaise disponibilité du système dans le cas d'une forte fréquence de défaillances (interaction 1).
- une mauvaise fiabilité peut impliquer une mauvaise sécurité car il est statistiquement prouvé que l'occurrence d'accident est souvent liée à l'apparition d'une défaillance du système (interaction 2).
- une mauvaise maintenabilité peut impliquer une mauvaise disponibilité puisque qu'elle provoque une augmentation du nombre de défaillances (interaction 3);
- une mauvaise maintenabilité peut impliquer une mauvaise sécurité. En effet, de même que pour la fiabilité, les statistiques montrent que l'occurrence d'accident est également liée à l'apparition d'une défaillance du système (interaction 4);
- des contraintes élevées en matière de sécurité conduisent à une mauvaise disponibilité (interaction 5). [27].

II .4.CONCLUTION

Au cours de ce chapitre, nous avons fait une étude approfondie sur la sûreté de fonctionnement et leurs paramètres tels que la fiabilité, la maintenabilité, la disponibilité et la sécurité. Nous avons aussi détaillé les lois de calcul de la fiabilité, de la maintenabilité et de la disponibilité. Dans le chapitre prochain, on va choisir le système électromécanique pour calculer les trois paramètres de la sûreté de fonctionnement (fiabilité, maintenabilité et disponibilité).

Chapitre III

Application de FMD et amélioration de SDF

II. L'analyse statistique de la FMD

Le choix d'un système électromécanique est basé sur leur rôle et leur importance dans la chaîne de production d'une industrie. Pour évaluer le niveau de sûreté de fonctionnement (fiabilité, maintenabilité et sécurité) de système choisi, il faut extraire son historique de panne. Dans notre travail, on a choisi le groupe électropompe (GEP301 A) à cause de son importance dans l'entreprise SP3 de M'sila.

III.1. Historique de pannes du groupe électropompe (GEP301 A)

Le tableau suivant résume l'historique de pannes de groupe électropompe de SP3 M'sila de puis l'année 2009 jusqu'à 2017.

N°	Type de panne	Date de début de traves	Date de fin de traves	Temps d'arrêt (h)
1	Remplacement GM-COA	21-02-2009	27-02-2009	144
2	Remplacement GM-CA	26-05-2009	28-05-2009	48
3	Echange joint de VVF	24-09-2009	24-09-2009	02
4	Fuite GM-CA	15-10-2009	16-10-2009	24
5	inspection annuelle	28-10-2009	28-10-2009	04
6	Echange cartouche filtre osmose VVF	15-11-2009	15-11-2009	02
7	Reprise soudure prise de pression manomètre	23-11-2009	24-11-2009	36
8	Remplacement GM-COA	07-12-2009	09-12-2009	48
9	Remplacement GM- CA	14-12-2009	19-12-2009	120
10	Inspection annuelle	04-01-2010	04-01-2010	04
11	Soufflage et nettoyage circuit arrosage GM-CA et COA	15-04-2010	15-04-2010	02

Chapitre III : Application de FMD et amélioration de SDF

12	Fuit sur GM- CA	10-01-2011	11-01-2011	24
13	Echange joint de VVF	27-01-2011	27-01-2011	4
14	Remplacement GM-COA	17-02-2011	20-02-2011	72
15	Echange cartouche filtre osmose VVF	22-02-2011	22-02-2011	04
16	Mis en place du circuit du curage de GM	25-02-2011	26-02-2011	24
17	Dépose et pose un clapet de non-retour	03-03-2011	05-03-2011	48
18	inspection annuelle	09-08-2011	09-08-2011	04
19	Changement ventilateur palier AR	31-05-2012	31-05-2012	04
20	Remplacement GM- COA	06-06-2012	10-06-2012	96
21	inspection annuelle	15-06-2012	15-06-2012	04
22	Dépose accouplement moteur / pompe	02-07-2012	04-07-2012	48
23	Remplacement GM-COA	10-02-2013	11-02-2013	24
24	Changement ventilateur palier AR	22-05-2013	22-05-2013	04
25	inspection annuelle	02-07-2013	02-07-2013	04
26	Remplacement GM-CA	03-01-2014	05-01-2014	48

27	Remplacement GM- COA	01-02-2014	03-02-2014	48
28	Dépose vanne 315 et clapet non-retour	17-03-2014	19-03-2014	48
29	Ensi a la te lui central MOV 305	21-03-2014	22-03-2014	24
30	Pose de la MOV 205 et clapet non-retour	18-08-2014	19-08-2014	24
31	inspection annuelle	01-09-2014	01-09-2014	04
32	inspection annuelle	31-12-2014	31-12-2014	03
33	Remplacement GM- CA	05-05-2015	09-05-2015	96
34	inspection annuelle	21-12-2015	21-12-2015	04
35	Changement ventilateur palier AR	12-01-2016	13-01-2016	24
36	inspection annuelle	13-02-2016	13-02-2016	04
37	Contrôle et vérification du mécanisme de transmission de vanne (MOV)	06-04-2017	06-04-2017	06
38	inspection annuelle	11-07-2017	11-07-2017	04
39	Dépose accouplement moteur / pompe	18-09-2017	21-09-2017	72
40	Soufflage et nettoyage circuit arrosage GM-CA et COA	06-12-2017	06-12-2017	06

Tableau 0.1. Historique de pannes de la GEP301 A.

III.2.L'analyse FMD

III.2.1. La fiabilité

Pour présenter graphiquement la fonction de fiabilité, on utilisera un logiciel de simulation qui s'appelle **Easy Fit**.

EasyFit permet d'ajuster automatiquement les distributions aux données échantillon et de sélectionner le meilleur modèle en secondes. Il est conçu de façon à rendre l'analyse des données aussi facile que possible, laissant en coulisse les détails techniques compliqués et vous permettant ainsi de vous concentrer sur les objectifs de vos affaires.

Les résultats de simulation par ce logiciel sont présentés par le **Tableau III-2**

Rangs	TBF	F(t)
1	48	0.02439024
2	48	0.04878048
3	72	0.07317073
4	120	0.09756097
5	120	0.12195121
6	120	0.14634146
7	144	0.17073170
8	192	0.19512195
9	288	0.21951219
10	312	0.24390243
11	312	0.26829268
12	384	0.29268292
13	384	0.31707317
14	408	0.34146341
15	432	0.36585365

16	504	0.39024390
17	504	0.41463414
18	528	0.43902439
19	648	0.46341463
20	744	0.48780487
21	984	0.51219512
22	1008	0.53658536
23	1224	0.56097560
25	1824	0.60975609
26	2112	0.63414634
27	2304	0.65853658
28	2400	0.68292682
29	2424	0.70731707
30	2856	0.73170731
31	2904	0.75609756
32	3000	0.78048780
33	3576	0.80487804
34	3768	0.82926829
35	4440	0.85365853
36	5304	0.87804878
37	5424	0.90243902
38	6480	0.92682926
39	7104	0.95121951
40	10080	0.97560975

Tableau III-2-Estimation de la fonction de répartition

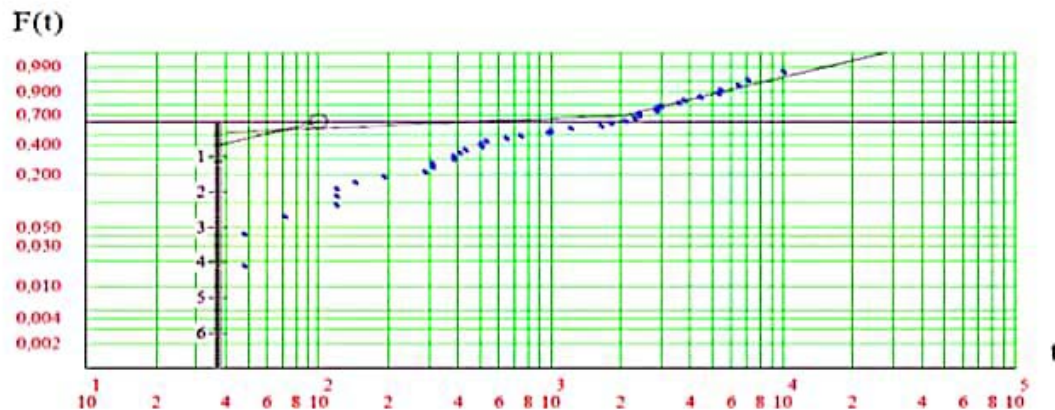


Figure III.1 : Papier fonctionnel de Wei bull

La figure III .1 montre la maintenabilité en fonction des temps de réparation (TTR), on remarque d'après cette figure que la maintenabilité augmente avec l'augmentation du temps de réparation (TTR).

Les paramètres de papier de Wiebull sont illustrés par le tableau suivant:

Paramètres	Valeurs
Beta(β)	0.79154
Eta(η)	1557.3
Gamma(γ)	0
MTBF	1928.7

Tableau III-3-Les paramètres de calcul de fiabilité

Nous utiliserons le test de KOLMOGOROV-SMIRNOV pour vérifier le modèle de calcul qui est accepté pour calculer les différentes fonctions (la fiabilité, la densité de probabilité et le taux de défaillance),

III .2.1.1.Test KOMOGOROV – SMIRNOV

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

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

$$D_{ni} = |F(ti) - F(t)|. \quad (III.01)$$

Où:

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

$$F(ti) = \frac{\sum ni}{n+1} \quad (III.02)$$

F(t) est la fonction de répartition théorique donné par l'équation suivante:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-y}{\eta}\right)^\beta} \quad (III.03)$$

On montre que $:D_n = \text{Max}|F(ti) - F(ti)| \quad (III.04)$

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

$$P(\text{Max}|F(ti) - F(ti)|D_n, a) = 1 - \alpha \quad (III.05)$$

La valeur de D_n, α est donnée par le tableau de KOMOGOROV – SMIRNOV.

Les résultats de comparaison entre les deux fonctions de réparation sont présentés dans le tableau suivant :

Rangs	TBF	F(ti)réelle	F(t)théoriques	Dni
1	48	0.02439024	0.06167780	0.03728756
2	48	0.04878048	0.06167780	0.01289732
3	72	0.07317073	0.08401302	0,01084229
4	120	0.09756097	0.12320453	0,02564356
5	120	0.12195121	0.12320453	0,00125332
6	120	0.14634146	0.12320453	0,02313616
7	144	0.17073170	0.14092044	0,02980730
8	192	0.19512195	0.17304973	0,02207222
9	288	0.21951219	0.23119360	0,01168141
10	312	0.24390243	0.24430142	0,00039899

Chapitre III : Application de FMD et amélioration de SDF

11	312	0.26829268	0.24430142	0,02399126
12	384	0.29268292	0.28118403	0,01149889
13	384	0.31707317	0.28118403	0,03588914
14	408	0.34146341	0.29275563	0,04870778
15	432	0.36585365	0.30400321	0,06185044
16	504	0.39024390	0.33597878	0,05426512
17	504	0.41463414	0.33597878	0,07865536
18	528	0.43902439	0.34609867	0,09292572
19	648	0.46341463	0.39319966	0,07021497
20	744	0.48780487	0.42723589	0,06056898
21	984	0.51219512	0.50108544	0,01110968
22	1008	0.53658536	0.50772136	0,02886400
23	1224	0.56097560	0.56233963	0,00136403
24	1656	0.58536585	0.65000756	0,06464171
25	1824	0.60975609	0.67802793	0,06827321
26	2112	0.63414634	0.71998966	0,08584332
27	2304	0.65853658	0.74423110	0,08569452
28	2400	0.68292682	0.75543091	0,07250409
29	2424	0.70731707	0.75813916	0,05082209
30	2856	0.73170731	0.80133705	0,06962974
31	2904	0.75609756	0.80555542	0,04945786
32	3000	0.78048780	0.81368436	0,03319656
33	3576	0.80487804	0.85498663	0,05010859 □
34	3768	0.82926829	0.86635119	0,03708290
35	4440	0.85365853	0.89890629	0,04524776
36	5304	0.87804878	0.92849913	0,05045035

37	5424	0.90243902	0.93179093	0,01135191
38	6480	0.92682926	0.95455152	0,02772226
39	7104	0.95121951	0.96401003	0,01279052
40	10080	0,9760975	0.98754204	0,01193229

Tableau III.4. La comparaison entre la fonction de répartition réelle et la fonction de répartition théorique

Le tableau. III.4 montre que $D_{max} = 0,09292572$ et d'après le tableau de KOMOGOROV – SMIRNOV $D_n, \alpha = D_{18, 0.05} = 0.30936$, on remarque que $D_{max} < D_n, \alpha$ cela implique que le modèle de Weibull est accepté pour calculer la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité.

La figure ci-dessous illustre la fonction de répartition en fonction du temps de bon fonctionnement (TBF)

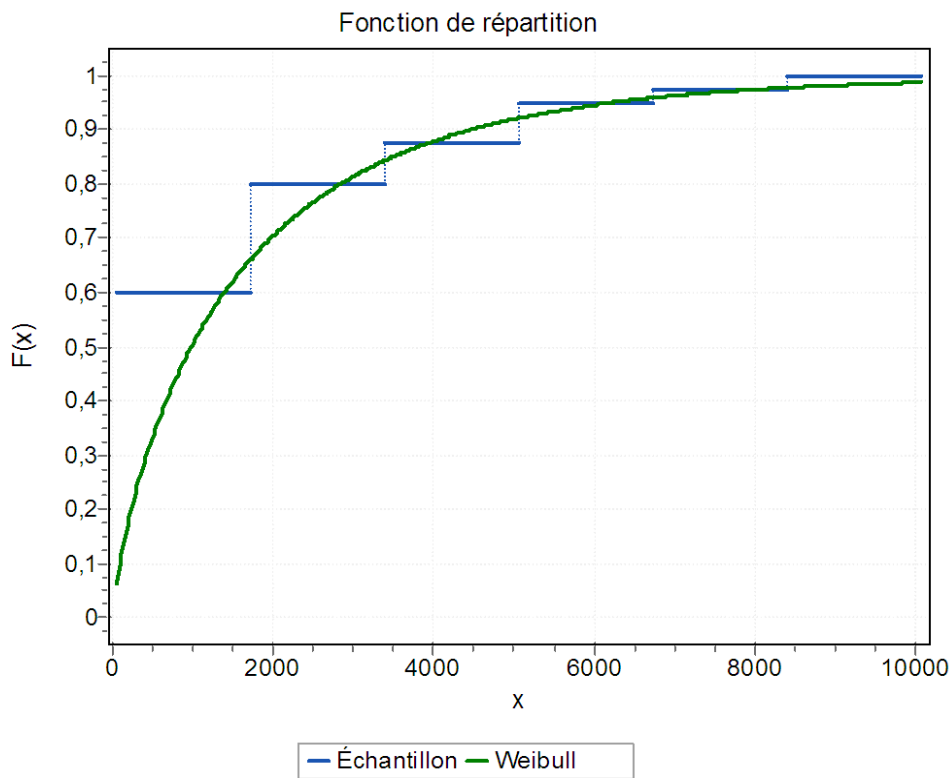


Figure. III.2: Fonction de répartition $F(t)$.

La figure III.2 illustre la fonction de répartition $F(t)$ en fonction du temps de bon fonctionnement (TBF). On observe d'après cette figure que la fonction de répartition augmente avec l'augmentation du temps de bon de fonctionnement (TBF).

III .2.1.2.Calculs de la fiabilité, de la densité probabilité et du temps de défaillance

Le tableau III .5est résumé les calculs de fiabilité, de densité de probabilité et du temps de

Défaillance :

TBF	R(t)	F(t)	λ (t)
48	0.93832223	0.00023091	0.00024609
48	0.93832223	0.00023091	0.00024609
72	0.91598698	0.00024529	0.00026779
120	0.87679546	0.00026118	0.00029788
120	0.87679546	0.00026118	0.00029788
120	0.87679546	0.00026118	0.00029788
144	0.85907956	0.00026582	0.00030942
192	0.82635027	0.00027149	0.00032854
288	0.76880640	0.00027486	0.00035752
312	0.75569858	0.00027473	0.00036354
312	0.75569858	0.00027473	0.00036354
384	0.71881597	0.00027288	0.00037962
384	0.71881597	0.00027288	0.00037962
408	0.70724437	0.00027190	0.00038445
432	0.69599679	0.00027078	0.00038906
504	0.66402122	0.00026678	0.00040176
504	0.66402122	0.00026678	0.00040176
528	0.65390133	0.00026275	0.00040568
648	0.60680034	0.00025690	0.00042337
744	0.57276411	0.00024958	0.00043574

984	0.50910202	0.00023333	0.00045832
1008	0.49227864	0.00022853	0.00046422
1224	0.43760371	0.00021153	0.00048339
1656	0.34999244	0.00018019	0.00051483
1824	0.32197207	0.00016914	0.00052531
2112	0.28006469	0.00015169	0.00054161
2304	0.25576895	0.00014106	0.00055152
2400	0.24456909	0.00013604	0.00055623
2424	0.24186083	0.00013481	0.00055739
2856	0.19866295	0.00011458	0.00057677
2904	0.19444458	0.00011237	0.00057878
3000	0.18631564	0.00011262	0.00058272
3576	0.14501367	0.00008765	0.00060445
3768	0.13364881	0.00008167	0.00061108
4440	0.10109371	0.00006393	0.00063234
5304	0.07150087	0.00004692	0.00065622
5424	0.06820907	0.00004497	0.00065929
6480	0.04544848	0.00003110	0.00068419
7104	0.03598997	0.00002510	0.00069743
10080	0.01245796	0.00000935	0.00075021

Tableau III.5: Calculs de la fiabilité, du temps de défaillance et de la densité de probabilité.

les présentations graphiques de la fiabilité, de la densité de probabilité et du taux de défaillance sont présentés par les trois figures suivantes :

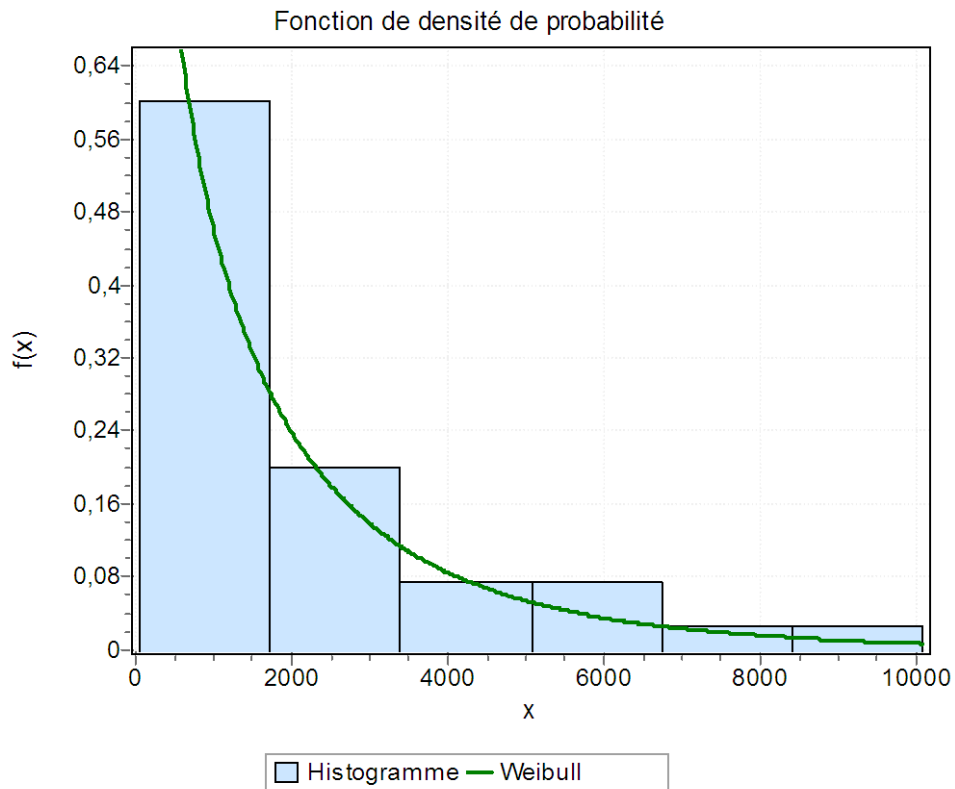


Figure. III.3 la densité de probabilité $f(t)$

La Figure. III.3 présente la densité de probabilité $f(t)$ en fonction du temps de bon fonctionnement (TBF)

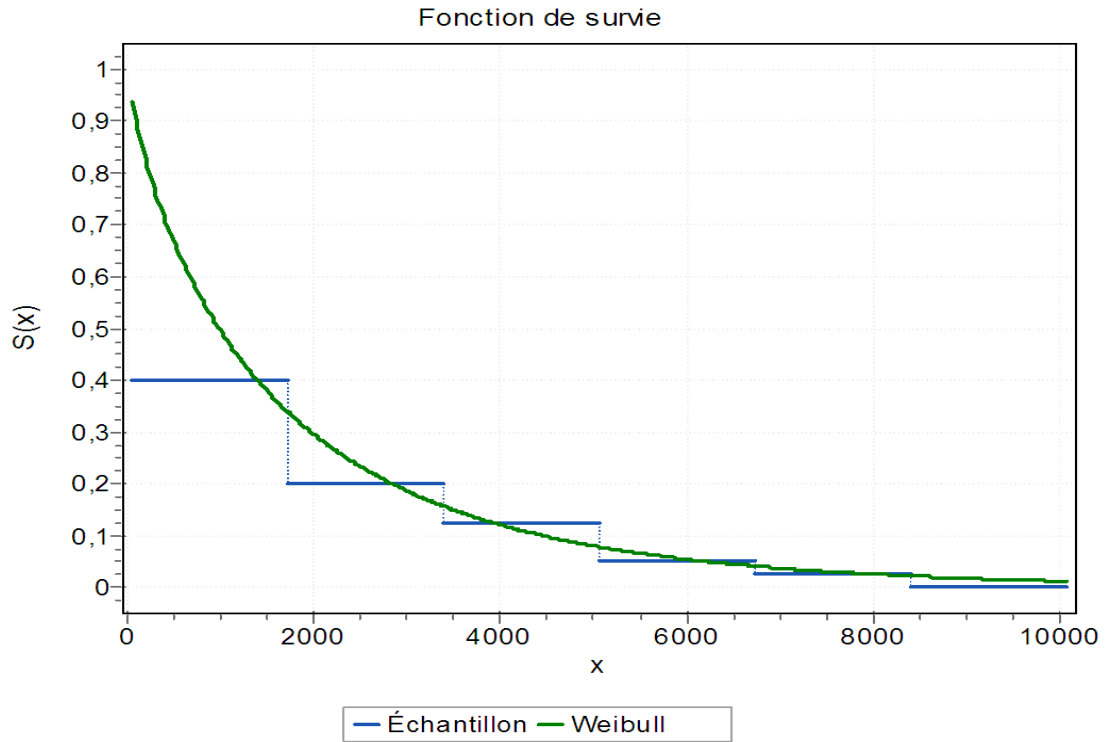


figure.III.4 la fonction de fiabilité $R(t)$

La figure. III.4 montre la fonction de fiabilité $R(t)$ en fonction du temps de bonfonctionnement (TBF), on remarque à partie cette courbe que la fiabilité diminue avec le temps.

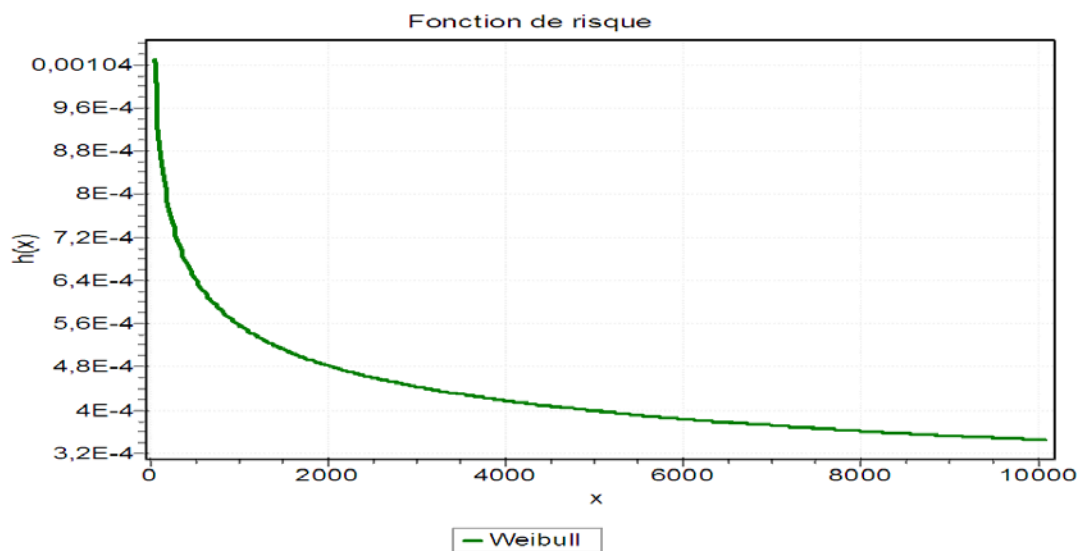


Figure.III.5 Taux de défaillance $\lambda(t)$

La Figure. III.5 présente le Taux de défaillance $\lambda(t)$ en fonction du temps de bonfonctionnement (TBF).

III .2.1.3.Calcul de R (MTBF) :

Pour la moyenne des temps de bon fonctionnement MTBF =1928.7h, la fiabilité est de :

$$R(\text{MTBF}) = e^{-\left[\frac{\text{MTBF} - \gamma}{\eta}\right]^\beta} \quad (\text{III.06})$$

$$R(\text{MTBF}) = e^{-\left[\frac{1928.7-(0)}{1557.3}\right]^{0.79154}} = 0.30590495$$

III .2.1.4.Calcul de F(MTBF) :

$$F(\text{MTBF}) = 1 - e^{-\left[\frac{\text{MTBF} - \gamma}{\eta}\right]^\beta} \quad (\text{III.07})$$

$$F(\text{MTBF}) = 1 - e^{-\left[\frac{1928.7-(0)}{1557.3}\right]^{0.79154}} = 0.69409505$$

III .2.1.5.La densité de défaillance f(MTBF) :

La densité de défaillance correspondante à la moyenne du temps de bon fonctionnement est :

$$f(\text{MTBF}) = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{\text{MTBF} - \gamma}{\eta}\right]^{\beta-1} e^{-\left[\frac{\text{MTBF} - \gamma}{\eta}\right]^\beta} \quad (\text{III.08})$$

$$f(\text{MTBF}) = \frac{0.79154}{1557.3} \left[\frac{1928.7-0}{1557.3}\right]^{0.79154-1} e^{-\left[\frac{1928.7-(0)}{1557.3}\right]^{0.79154}} = 0.00016257$$

III .2.1.6.Calcul de λ(MTBF) :

$$\lambda(\text{MTBF}) = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{\text{MTBF} - \gamma}{\eta}\right]^{\beta-1} \quad (\text{III.09})$$

$$\lambda(\text{MTBF}) = \frac{0.79154}{1557.3} \left[\frac{1928.7-0}{1557.3}\right]^{0.79154-1} = 0.00053145$$

III .2.2. La maintenabilité

La maintenabilité en fonction du taux de réparation est donné par la formule suivante :

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad (\text{III.10})$$

La moyenne du temps de réparation exprimée par :

$$MTTR = \Sigma TTR / N \quad (III.11)$$

TTR : temps de réparation. Et N : nombre de panne.

MTTR=30.325h

Le taux de réparation est exprimé comme suit :

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = 0.032976092 \text{ interventions / heure.} \quad (III.12)$$

D'après l'historique de panne, on peut calculer la maintenabilité et les résultats de calculs et de simulation sont présentés par le tableau III .6et la figure III .2

Rang	TTR	M(t)
01	02	0.06382437
02	02	0.06382437
03	02	0.06382437
04	03	0.09419253
05	04	0.12357519
06	04	0.12357519
07	04	0.12357519
08	04	0.12357519
09	04	0.12357519
10	04	0.12357519
11	04	0.12357519
12	04	0.12357519
13	04	0.12357519
14	04	0.12357519
15	04	0.12357519
16	04	0.12357519

Chapitre III :Application de FMD et amélioration de SDF

17	04	0.12357519
18	06	0.17951246
19	06	0.17951246
20	24	0.54680202
21	24	0.54680202
22	24	0.54680202
23	24	0.54680202
24	24	0.54680202
25	24	0.54680202
26	24	0.54680202
27	36	0.69490721
28	48	0.79461159
29	48	0.79461159
30	48	0.79461159
31	48	0.79461159
32	48	0.79461159
33	48	0.79461159
34	48	0.79461159
35	72	0.90691839
36	72	0.90691839
37	96	0.95781559
38	96	0.95781559
39	120	0.98088212
40	144	0.99133581

Tableau.6.calcul de La maintenabilité

La figure suivante illustre la courbe de la fonction de Maintenabilité :

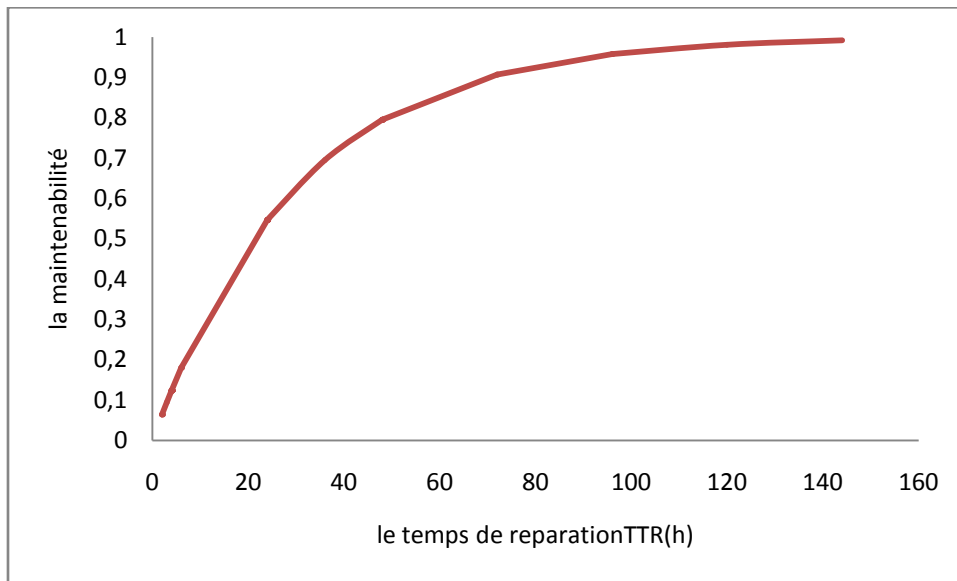


Figure III .6.Courbe de la fonction de maintenabilité

La figure III.6. montre la maintenabilité en fonction des temps de réparation (TTR), on remarque d'après cette figure que la maintenabilité augmente avec l'augmentation du temps de réparation (TTR).

III .2.3La disponibilité

Il existe plusieurs types de la disponibilité et chaque type exprimé par une formule de calcul, dans la suite, on exposera les types de disponibilité.

III .2.3.1.La disponibilité intrinsèque théorique

La disponibilité intrinsèque théorique est exprimée en fonction de moyenne de bon fonctionnement et de moyenne de réparation est exprimée par:

$$D = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \quad (\text{III.13})$$

On a: MTBF=1928.7 h et MTTR=30.325 h

Alors: D=0,9845203

III .2.3.2 Disponibilité instantanée

La disponibilité instantanée exprimée en fonction du taux de défaillance et du taux de réparation, elle est donnée par la relation suivante :

$$D(t) = \frac{\mu}{\lambda+\mu} + \frac{\lambda}{\lambda+\mu} e^{-(\lambda+\mu)t} \quad (\text{III.14})$$

On a: $MTBF = \frac{1}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{1}{MTBF} = 0,00051145$

Et $MTTR = \frac{1}{\mu} \Rightarrow \mu = \frac{1}{MTTR} = 003297609$.

$\mu+\lambda=0,03349457$

Le tableau suivant présente la disponibilité pour les temps de bon fonctionnement:

Rang	TTR	D(t)
01	02	0.99917428
02	02	0.99917428
03	02	0.99917428
04	03	0.99868542
05	04	0.99821266
06	04	0.99821266
07	04	0.99821266
08	04	0.99821266
09	04	0.99821266
10	04	0.99821266
11	04	0.99821266
12	04	0.99821266
13	04	0.99821266
14	04	0.99821266
15	04	0.99821266
16	04	0.99821266
17	04	0.99821266
18	06	0.99731337

Chapitre III : Application de FMD et amélioration de SDF

19	06	0.99731337
20	24	0.99143707
21	24	0.99143707
22	24	0.99143707
23	24	0.99143707
24	24	0.99143707
25	24	0.99143707
26	24	0.99143707
27	36	0.98908696
28	48	0.98751492
29	48	0.98751492
30	48	0.98751492
31	48	0.98751492
32	48	0.98751492
33	48	0.98751492
34	48	0.98751492
35	72	0.98575994
36	72	0.98575994
37	96	0.98497466
38	96	0.98497466
39	120	0.98462329
40	144	0.98446606

Tableau 7. Tableau de disponibilité instantané

La figure suivante illustre la courbe de la disponibilité :

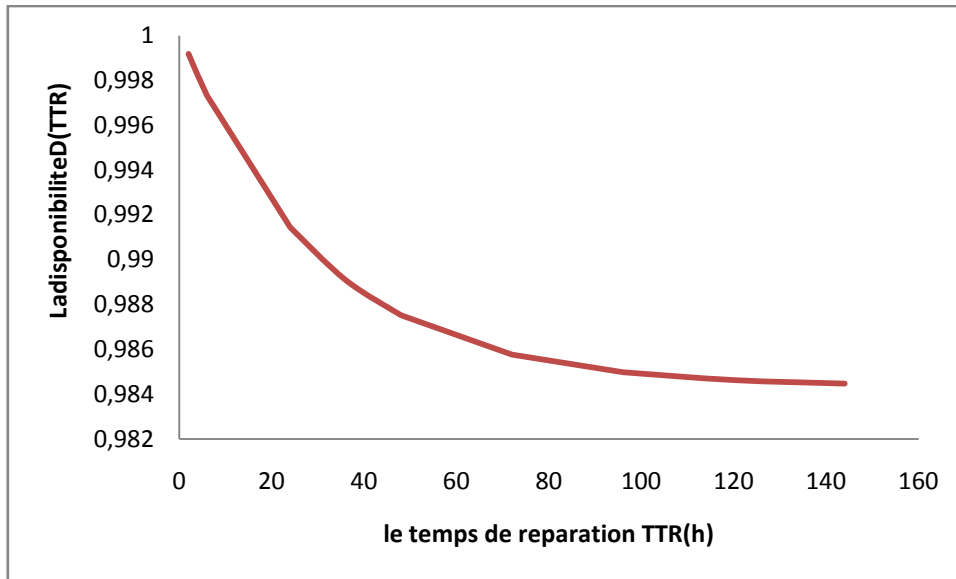


Figure III.7. La Courbe de disponibilité instantanée

La figure III.7 montre la disponibilité intrinsèque en fonction du temps de réparation. D'après cette figure, on remarque que la disponibilité diminue avec l'augmentation du temps de réparation.

III .3.L'application des méthodes d'analyse

III .3.1.La méthode de la courbe ABC

Pour appliquer la méthode ABC, il doit classer en premier temps les pannes du groupe électropompe par ordre décroissant en suite calculer leurs cumuls et leurs pourcentages et calculer en deuxième temps le cumul et le pourcentage de fréquence de panne comme illustré par le tableau suivant:

N°	Types des pannes	Fréquence	Temps de pannes	Cumul de fréquence	Cumul de T-p	Cumul de fréquence %	Cumul NT,P (%)
1	Remplacement GM-COA	6	432	6	432	15	36.27
2	Remplacement GM-CA	4	288	10	720	25	60.45

Chapitre III : Application de FMD et amélioration de SDF

3	Dépose accouplement moteur / pompe	2	120	12	840	30	70.53
4	Fuit sur GM- CA	2	48	14	888	35	74.56
5	Dépose et pose un clapet de non- retour	1	48	15	936	38	78.59
6	Dépose vanne 315 et clapet non- retour	1	48	16	984	40	82.62
7	inspection annuelle (5000h)	10	39	26	1023	65	85.90
8	Reprise soudure prise de pression manomètre	1	36	27	1059	67	88.92
9	Changement ventilateur palier AR	3	32	30	1091	75	91.60
10	Mis en place du circuit du curage de GM	1	24	31	1115	77.50	93.62
11	Ensi a la telui central MOV 305	1	24	32	1139	80	95.63
12	Pose de la MOV 205 et clapet non- retour	1	24	33	1163	82.50	97.65
13	Echange joint de VVF	2	8	35	1171	87.50	98.09
14	Soufflage et nettoyage circuit arrosage GM-CA et COA	2	8	35	1179	92.50	98.50
15	Echange cartouche filtre osmose VVF	2	6	39	1185	97.50	99.50

16	Contrôle du mécanisme de transmission de vanne	1	6	40	1191	100	100
----	--	---	---	----	------	-----	-----

Tableau III .8.L'analyse ABC (Pareto)

La figure suivante (Fig. III .4) montre la présentation graphique de la courbe ABC, cette courbe est le pourcentage du cumul des heures de panne en fonction du pourcentage de cumul de fréquence de panne.

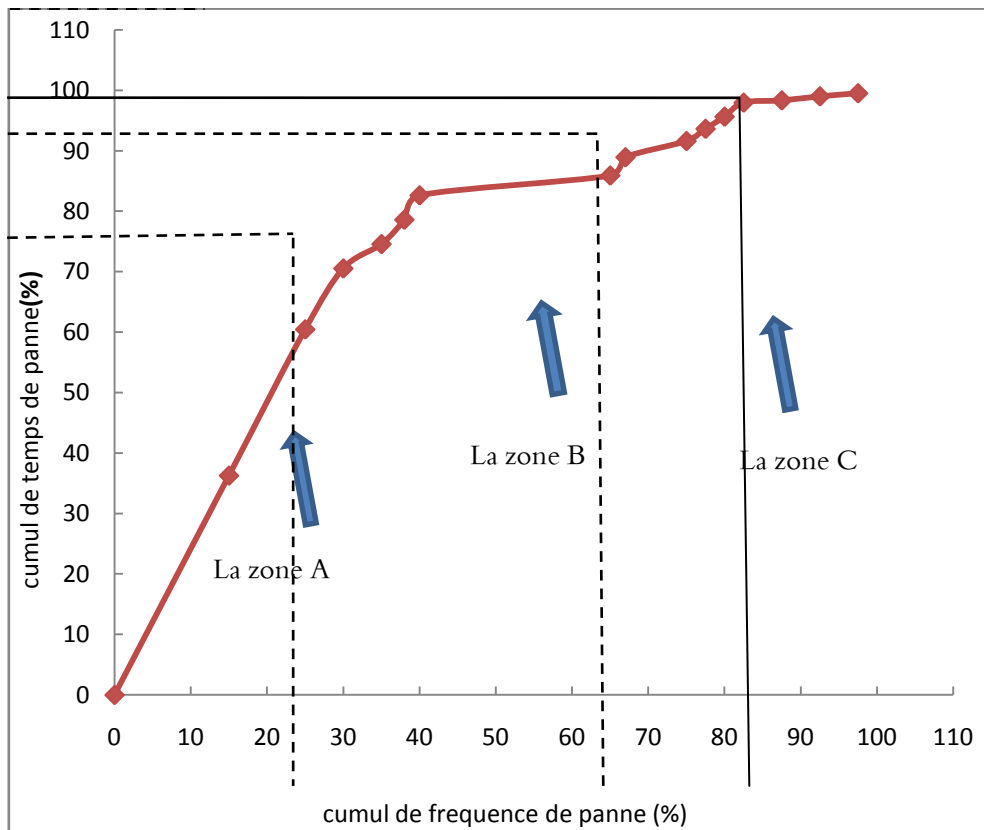


Figure III .8. La Courbe d'ABC

D'après cette figure, on observe que la courbe ABC contient trois zones d'où :

Zone "A": les 78.59% des heures de panne représentent 38% de fréquence de panne, cette zone contient les éléments les plus tombent en panne : (GM-COA, GM-CA, accouplement moteur / pompe, Fuit sur GM- CA, le clapet de non-retour)

Zone "B": les 15% des heures de panne représentent 42% de fréquence de panne.

Zone "C": les 5% des heures de panne représentent 20% de fréquence de panne.

D'après les résultats obtenus, on voit que la fiabilité du groupe électropompe (GEP301 A) est plus réduite qui égale à 30.59% et d'après la courbe ABC, on remarque que les importants

éléments de ce groupe sont les plus défaillants, alors ; on propose la dégradation du groupe électropompe et le remplacer par un nouveau groupe.

III .4.Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons choisi un système électromécanique qui s'appelle le groupe électropompe (GEP301 A) et on a pris leur historique pendant un intervalle du temps déterminé. A partir cet historique, nous avons extrait les temps de bon fonctionnement de ce système et calculé la fonction de répartition théorique et réelle et par l'application du test Kolmogorov Smirnov, on a déduit que la loi de Wiebull est accepté pour calculer la fiabilité, la densité de probabilité et le taux de défaillance. La valeur de fiabilité pour la moyenne du temps de bon fonctionnement était réduite (30.59%) et l'application de la courbe ABC permet de voir que les importants éléments de ce groupe sont les plus défaillants, pour cela on a proposé la dégradation du groupe électropompe et le remplacer par un nouveau groupe.

Conclusion générale

Dans notre mémoire, les généralités et les notions de base sur la maintenance des systèmes électromécanique sont illustrés. Les types, les opérations et les niveaux de maintenance sont expliqués en détail dans notre travail avec la description des paramètres de la sûreté de fonctionnement.

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 pendant quelques années. On a calculé la fonction de répartition réelle et théorique pour tester quelle est la méthode acceptée pour calculer la fiabilité, la densité de probabilité et le taux de défaillance et d'après le test KOMOGOROV SMIRNOV, la méthode de Wiebull était la méthode acceptée. On a utilisé le logiciel Easy Fit pour extraire les paramètres de la loi de Wiebull et représenter graphiquement la fiabilité, la densité de probabilité et le taux de défaillance.

D'après les résultats obtenus, on voit que la fiabilité du groupe électropompe (GEP301 A) est plus réduite qui égale à 30.59% et d'après la courbe ABC, on a remarqué que les importants éléments de ce groupe sont les plus défaillants, et enfin ; on a proposé la dégradation du groupe électropompe et le remplacer par un nouveau groupe.

Dans les travaux futurs, nous allons améliorer et progresser le niveau de la sûreté de fonctionnement des systèmes électromécaniques par l'application d'une stratégie de maintenance efficace basée sur les deux méthodes de la maintenance (préventive systématiques et préventive conditionnelle)

Bibliographies

Bibliographies

- [1] **R. Sarker, A. Haque**, Optimisation of maintenance and spare provisioning policy using Simulation, *Applied Mathematical Modelling* 24(2000) 751-760
- [2] **FERHATIA, KASMLS** , « Maintenance des échangeurs de chaleur (mémoire de fin D'étude)», 2001.
- [3] **AFNOR**, Maintenance industrielle – Fonction maintenance, FD X60-000, Mai, 2002.
- [4] **Anthony Kelly**, Maintenance and the industrial organization. *Plant Maintenance Management Set* 2006 ; 3(1) : 3-8.
- [5] **EN 13306.**, Terminologie de la maintenance, EN 13306 X60-319, juin, 2001.
- [6] **Castanier B.**, Modélisation stochastique et optimisation de la maintenance conditionnelle des systèmes à dégradation graduelle Thèse de doctorat, Université de Technologie de Troyes, 2002.12.
- [7] **Despujols A.**, *Approche fonctionnelle de la maintenance*, MT9020, Techniques de l'ingénieur, Octobre, 2004.14.
- [8] **Pascal Vrignat**. Génération d'indicateurs de maintenance par une approche semiparamétrique et par une approche markovienne. Université d'Orléans, 2010.
- [9] **Rausand M. and Hoyland A.**, *System Reliability Theory-Models, Statistical Methods, and Applications*, Wiley, second edition, 2004
- [10] **Devarun Ghosh, Sandip Roy**, Maintenance optimization using probabilistic costbenefit analysis. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 2009; 22(4): 403-407.
- [11] **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.
- [12] **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.
- [13] **Lung B, Morel G, Leger J.B.**, *Proactive maintenance strategy for harbour crane*

operation improvement, Robotica, vol 21, 2003, pp 313-324.

[14] **Lyons, M., Adams, S., Woloshynowych, M., Vincent, C**, Human reliability analysis in healthcare: A review of techniques, International Journal of Risk & Safety in Medicine, Vol.16, 2004 pp. 223–237.

[15] **BEN DJAAFER Ahmed** Réalisation d'un plan de maintenance préventive systématique pour l'amélioration de la sûreté de fonctionnement d'un système électromécanique Mémoire de F I N D ' E T U D E S, Université de M ' S I L A 2013

[16] **Jean .B**, « la TPM : un système de production », Technologie (SCEREN - CNDP) – Revue Française de gestion Industrielle, Paris, avril 2008.

[17]. **TA YEB HOUASNIA**(Pondération des taux de défaillances des équipements qui opèrent dans des milieux hostiles)université du Québec À trois -Rivières .

[18]. **Y. MORTUREUX, (2002)** « La sûreté de fonctionnement : méthodes pour maîtriser les risques », Techniques de l'Ingénieur, AG 4 670.

[19]. **A. VILLEMEUR, (1997)** « Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels ». Éd. Eyrolles EDF, Collection de la Direction des Études et Recherches d'Electricité de France.

[20]. **J.C. LAPRIE, (1995)** « Guide de la sûreté de fonctionnement », Toulouse.

[21]. **Jean GANDIBLEUX.**(Contribution à l'évaluation de sûreté de fonctionnement des architectures de surveillance/diagnostic embarquées.

Application au transport ferroviaire.)

Thèse de doctorat de l'Université de Valenciennes et du hainaut Cambrésis

[22]. [**MARCOVICI et LIGERON, 1974**] : C.Marcovici et J.C.Ligeron « Utilisation des techniques de fiabilité en mécanique. », Technique et documentation 1974

[23]. **Defdaf . M** (cour fiabilité) Université de m'sila 2018/2019 [20].

[24]. **REGHIS Kenza**(Fiabilité des Systèmes Mécaniques) Mémoire du diplôme de master université kasdi Mer bah Ouargla mai 2016

[25]. **Pr. Ahmed BELLAOUAR . M.A. Salima BELEULMI**(fiabilité :maintenabilité et disponibilité)

UNIVERSITE Constantine 12013-2014

[26] **BOUCERRDJ Leila**(Sûreté de Fonctionnement :Recherche des scénarios critique dans les systèmes mécatroniques) thèse de doctorat en sciences d'université badji mokhtar-Annaba .

[27]. **Defdaf Mabrouk** (utilisation des réseaux de files d'attente pour L'évaluation des performances de la maintenance). thèse de doctorat en sciences d'université badji mokhtar-Annaba .

N	Niveau significatif				
	0,2	0,15	0,1	0,05	0,01
1	0,900	0,925	0,950	0,975	0,995
2	0,684	0,726	0,776	0,842	0,929
3	0,565	0,597	0,642	0,708	0,828
4	0,494	0,525	0,564	0,624	0,733
5	0,446	0,474	0,510	0,565	0,669
6	0,410	0,436	0,470	0,521	0,618
7	0,381	0,405	0,438	0,486	0,577
8	0,358	0,381	0,411	0,457	0,543
9	0,339	0,360	0,388	0,432	0,514
10	0,322	0,342	0,368	0,410	0,490
11	0,307	0,326	0,352	0,391	0,468
12	0,295	0,313	0,338	0,375	0,450
13	0,284	0,302	0,325	0,361	0,433
14	0,274	0,292	0,314	0,349	0,418
15	0,266	0,283	0,304	0,338	0,404
16	0,252	0,274	0,295	0,328	0,392
17	0,250	0,266	0,286	0,318	0,381
18	0,244	0,259	0,278	0,309	0,371
19	0,237	0,252	0,272	0,301	0,363
20	0,231	0,246	0,264	0,294	0,356
25	0,210	0,220	0,240	0,270	0,320
30	0,190	0,200	0,220	0,240	0,290
35	0,180	0,190	0,210	0,230	0,270
>35	$\frac{1,07}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,22}{\sqrt{N}}$	$\frac{0,188}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,36}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,63}{\sqrt{N}}$