



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique Et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة العربي التبسي - تبسة

Université Larbi Tebessi – Tébessa

معهد المناجم

Institut des Mines

قسم أليلكتروميكانيك

Département Electromécanique



MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention d'un diplôme de Master

Filière : Electromécanique

Option : Maintenance industrielle

Thème :

**Optimisation de la Maintenance par la
Fiabilité et la Disponibilité des équipements**

Par

FARID KECHROUD

Devant le jury :

Taleb. Mounia	MCB	Président	Université Larbi Tebessi Tébessa
Melkia Chaouki	MAA	Encadreur	Université Larbi Tebessi Tébessa
Fares Noureddine	MAA	Examineur	Université Larbi Tebessi Tébessa

Promotion 2019-2020

Dédicace ...

Je dédie ce modeste travail néanmoins ambitieux à tous ceux que j'estime

A ma très chère honorable et aimable mère qui représente pour moi le symbole de la bonté par excellence.

A mon très cher père. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation.

A ma très chère femme qui représente pour moi le symbole de vie.

A mes très chères filles qui sont mes la joie de ma vie.

A mes frères.

A mes sœurs.

A toute ma famille, a tous mes amis.

F. KECHROUD

Remerciement

Je remercie tous ceux qui ont cru en ma bonne volonté et m'ont soutenu dans mes études.

Je remercie tout particulièrement mon encadreur :

Mr MALEKIA Chaouki MAA à l'université de Tebessa pour son soutien infaillible

Je remercie les responsables et les travailleurs de l'entreprise **Anabib** pour leur accueil durant mon stage pratique.

Je remercie ma famille, mes collègues et amis qui m'a soutenu. Enfin, Merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire

Table des matières

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

Chapitre I : LA FONCTION MAINTENANCE

I. INTRODUCTION	3
II.LA MAINTENANCE	3
II.1. INTRODUCTION	3
II.2. POSITION DU SERVICE MAINTENANCE AU SEIN DE L'ENTREPRISE	6
II.3.LES FONCTIONS ET TACHES ASSOCIEES A LA MAINTENANCE	8
i. La fonction « Études et méthodes »	8
ii. La fonction « Exécution mise en œuvre »	8
iii. La fonction s Documentation »	9
II. 4- REPARTITION DES ACTIVITES DE MAINTENANCE	9
II.5. METHODES DE MAINTENANCE	10
II.6. DEFINITIONS	11
II.7.LES NIVEAUX DE MAINTENANCE	12
II. 8- LES OPERATIONS DE MAINTENANCE	13
III- LA QUALITE	15
III. 1- INTRODUCTION	15
III. 2 LE CONCEPT QUALITE	15
III. 3 LES ENJEUX DE LA QUALITE	16
III. 4 COUT DE LA QUALITE	17
III. 4 CONCLUSION	21

Chapitre II- NOTIONS DE BASE DE LA FIABILITE

II.1.- Introduction	22
II.2. Généralités	22
II.2.1. Définition de la panne	22
II.2.2. Définition de la défaillance	23

II.2.3.	Matériel réparable	24
II.2.4.	Matériel irréparable.....	25
II.2.5.	Les grandeurs de temps.....	26
II.3.	Fiabilité et sûreté de fonctionnement	27
II.4.	Fiabilité des systèmes.....	33
II.5.	Relation entre fiabilité, maintenabilité et disponibilité.....	36
II.6.	Conclusion.....	36

Chapitre III- LES LOIS DE FIABILITE

III.1.	INTRODUCTION.....	37
III.2.	EXPLOITATION DES HISTORIQUES.....	37
III.3.	Définitions.....	38
III.4.	Fonction défaillance. Fonction de Fiabilité.	39
III.5.	Taux d'avarie (ou taux de défaillance)	41
III.5.	MTBF : Moyenne des temps de bon fonctionnement.....	41
III.6.	Principales lois de probabilité utilisées en fiabilité	41
III.6.A.	Loi exponentielle.....	41
III.6.B.	Loi de Weibull (mathématicien suédois)	43
III.6. c.	La loi Log-normale (ou de Galton)	44
III.6.D.	Loi de Gamma.....	45
III.7.	Choix de la politique de maintenance.....	46
III.9.	Analyse de Pareto (m'méthode ABC)	47
III.10.	Conclusion.....	49

Chapitre IV-Traitement des données et outils d'analyse

IV.1.	Introduction.....	50
IV.2.	Les équipements de l'entreprise.....	50
IV.3.	Choix des équipements à étudier.....	51
IV.4.	Analyse de la fiabilité des équipements	51

IV.4.A. Modélisation paramétrique de la fiabilité des équipements.....	53
IV.4.B. Indices de fiabilité.....	55
IV.4. C. Modélisation de la maintenabilité.....	56
IV.4. D. Disponibilité des équipements.....	57
IV.5. Conclusion	59
Conclusion generale.....	60
Bibliographie	
Annexe	

Résumé :

Ces dernières années, une prise de conscience ferme a été constatée à l'entreprise **Anabib** relativement aux problèmes de maintenance. En particulier, les gestionnaires se demandent si la politique actuelle de maintenance est suffisante pour faire face aux objectifs d'exploitation de ces équipements ?

En effet la disponibilité des équipements est un aspect important pour la maîtrise et la maintenabilité des performances techniques et économiques dans une entreprise. L'objectif principal de ce mémoire, est l'étude de la disponibilité des équipements de la chaîne de production au niveau de l'entreprise **Anabib** située à Elma-labiod wilaya de TEBESSA. Pour cela, nous avons, appliqués les lois de fiabilité, ainsi que les lois de maintenabilité sur certains équipements choisis grâce à l'analyse de Pareto, et présenter l'influence des annexes de réparation sur l'indisponibilité de ces équipements. Dans un second temps, nous avons pu déterminer la disponibilité de ces équipements .

Donc on a essayé de répondre aux questions :

- Quelles sont les équipements à suivre ?
- Quelles sont les performances de ces équipements ?

Abstract :

In recent years, there has been a strong awareness at Anabib about maintenance issues. In particular, managers wonder if the current maintenance policy is sufficient to meet the operating objectives of this equipment?

Indeed, the availability of equipment is an important aspect for the control and maintainability of technical and economic performance in a company. The main objective of this thesis is the study of the availability of equipment in the production chain at the level of the Anabib company located in Elma-labiod wilaya of TEBESSA. To do this, we have applied the laws of reliability, as well as the laws of maintainability on certain equipment chosen through Pareto analysis, and presented the influence of repair schedules on the unavailability of this equipment. Secondly, we were able to determine the availability of this equipment.

So we tried to answer the questions:

- What are the equipment to follow?
- What are the performances of this equipment?

Table des figures

1.1– Exemple d'organigramme montrant la position et les liaisons du service maintenance avec les autres services.....	07
1.2: Répartition des activités de maintenance.....	09
1.3: Méthodes de maintenance.....	10
1.4: Le sondage du service marketing.....	15
2.1: Chronogramme d'un matériel réparable.....	25
2.2: Chronogramme d'un matériel irréparable.....	25
2.3 – La présentation des différentes grandeurs de temps.....	26
2.4 – Les concepts associés à la SdF.....	28
2.5 – facteurs influents la disponibilité.....	29
2.6 – facteurs influents la fiabilité.....	32
2.7 – Synthèse.....	35
3.1 – courbe en baignoire.....	41
3.2 – loi exponentielle.....	42
3.3 – Densité de probabilité de la loi log-normale.....	45
3.4 – Densité de probabilité de la loi Gamma.....	46
3.5 – Diagramme de Pareto.....	48
4.1 – Diagramme ABC.....	52
4.2 – Les fonctions de fiabilité des équipements.....	55
4.3 – Taux de défaillance des équipements.....	56
4.4 – Table de la loi de Weibull.....	Annexe
4.5 – Table de loi Gamma	Annexe
4.6 – Table de loi Kolmogorov-Smirnov	Annexe

Liste des tableaux

1.1– Les niveaux de maintenance.....	12
2.1 – facteurs influents la maintenabilité.....	32
3.1 – Méthode ABC.....	47
3.2 – La minorité des Causes responsables de la majorité des effets.....	39
4.1 – Inventaire.....	50
4.2 – Résultat de l'analyse ABC (Pareto).....	51
4.3 – Les équipements de la zone "A" de la courbe de Pareto.....	53
4.4 – Résultats de la modélisation paramétrique de la fonction de fiabilité.....	54
4.5 – Résultats de calcul de la MUT des équipements.....	55
4.6 – Résultats de la modélisation des temps de réparation.....	57
4.7 – Résultats de la modélisation des temps de disponibilité.....	58

Introduction :

Dans le nouveau contexte industriel, les entreprises subissent de grandes pressions de la part de leurs clients. Ces derniers deviennent exigeants des produits et des services de bonne qualité et à moindre coût. Pour satisfaire à la demande en qualité et en quantité tout en respectant les délais de livraison et les coûts de production, l'entreprise doit disposer d'un système de production fiable. Les entreprises commencent à être sensibilisées à l'importance des coûts induits par les défaillances accidentelles des systèmes de production, alors que la maintenance jusqu'à très récemment n'était considérée que comme un centre de coût.

La théorie de la fiabilité a pour objectif d'étudier l'aptitude des dispositifs techniques à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, durant un temps donné. La maintenance, de son côté a pour objectif essentiel d'assurer continuellement le bon état de marche des installations dans les meilleures conditions de qualité et de prix de revient.

La politique globale de l'entreprise Annabib est à prédominance productive. Tous ces efforts sont concentrés sur la production sans donner suffisamment d'importance à la maintenance. Ce qui explique l'absence dans cette entreprise d'une politique de maintenance performante.

Dans mon travail, je suis intéressée à l'atelier maintenance, qui est d'une importance majeure pour l'entreprise. Mon travail consiste à calculer en premier lieu la fiabilité, puis la maintenabilité afin de déterminer la disponibilité des équipements. Un traitement statistique des données des équipements, issus de la zone A de la courbe de Pareto, permet d'évaluer la fiabilité et la maintenabilité de ces derniers. Ce traitement a pour objectif dans un premier temps, de connaître le comportement des équipements issus de la zone A de la courbe de Pareto qui sont responsables de l'immobilisation de l'entreprise, les équipements identifiés constituent les éléments de notre système. Dans un deuxième temps j'avons évalué la fiabilité des différents équipements afin de dégager le type de maintenance le plus adéquat. Par ailleurs, un modèle d'évaluation de la disponibilité a été proposé.

Ce mémoire comprend une introduction générale, quatre chapitres, une conclusion générale, une annexe et en fin, une bibliographie. Le premier chapitre est consacré à la fonction maintenance. Dans le deuxième chapitre, on trouve les notions théoriques de fiabilité, durée de vie des matériels, taux de défaillance, maintenabilité ainsi que la disponibilité. Dans le

INTRODUCTION

troisième chapitre on trouve un ensemble d'éléments théoriques (estimation des paramètres de lois) et l'analyse de Pareto. Le quatrième chapitre est consacré à l'analyse statistique des données. Il comprend la collecte des données, les résultats de la modélisation pour la fiabilité des équipements, ainsi que la modélisation des lois de maintenabilité et l'étude de la disponibilité des équipements. Ce mémoire se termine par une conclusion et quelques perspectives.

Chapitre 1

La Fonction Maintenance

I. Introduction

Les installations, les équipements tendent à se détériorer dans le temps sous l'action de causes multiples : usures, déformations dues au fonctionnement ; action des agents corrosifs (agents chimiques, atmosphériques, etc.).

Ces détériorations peuvent provoquer l'arrêt de fonctionnement (panne) ; diminuer les capacités de production ; mettre en péril la sécurité des personnes ; provoquer des rebuts ou diminuer la qualité ; augmenter les coûts de fonctionnement (augmentation de la consommation d'énergie, etc.) ; diminuer la valeur marchande de ces moyens.

Dans tous les cas ces détériorations engendrent des coûts directs ou indirects supplémentaires.

Devant cette situation, la maintenance ne doit plus se contenter de surveiller et de réparer, mais envisager des stratégies. C'est dans ce contexte que la maintenance s'est dotée de méthodes qui considèrent à la fois, et plus ou moins, la technique et l'organisation, alliant une évaluation des risques, une analyse d'expérience, et une logique de sélection de tâches de maintenance. L'Optimisation de la Maintenance par la Fiabilité (OMF) est le nom qui a été donné à la méthode aujourd'hui utilisée par le secteur industriel européen.

II. LA MAINTENANCE

II.1. INTRODUCTION.

Les activités de maintenance se traduisent par des interventions sur des équipements pluri technologiques. Ces interventions supposent des connaissances scientifiques et techniques relatives tant aux systèmes, produits, processus, matériels et logiciels mis en œuvre qu'à leur fonctionnement et aux principes qui régissent interactions.

Ceux qui assurent la fonction maintenance ont pour mission, quelle que soit l'entreprise, d'accomplir toutes les tâches nécessaires pour que l'équipement soit maintenu ou rétabli en état et ceci afin de :

- permettre une exécution normale des opérations dans les meilleures conditions de coût, de sécurité et de qualité (c'est le cas de la production) ;
- obtenir un service dans les meilleures conditions de confort et de coût (c'est le cas des services rendus

en général mais surtout des transports, des hôpitaux,).

Pour remplir cette mission, **il faut** :

- dépanner les machines, les systèmes pluri techniques et les matériels dans les meilleurs délais et au meilleur coût ;
- réparer, réviser, rénover, maintenir en état les machines, les systèmes pluriethniques, et les matériels :
C'est la maintenance de fabrication ou la maintenance de production.
- réparer et maintenir en état les bâtiments, les engins de transport, le téléphone, les réseaux, les jardins et pelouses, les parkings, la climatisation etc.
- contrôler et surveiller les différentes énergies utilisées pour assurer les activités de l'entreprise (électricité, air, eau, gaz, vapeur...) :
C'est la maintenance générale.
- négocier les contrats d'assistance technique et (ou) de maintenance ;
- veiller au respect de ces contrats :
C'est la maintenance sous-traitée.

Remarque : cette maintenance peut être générale ou de production.

Puisque la maintenance est une fonction, il faut penser constamment à optimiser ses coûts de manière à permettre l'accroissement de la compétitivité.

Entretien et maintenance sont-ils synonymes ?

Pour nous, entretenir consiste à dépanner ; réparer ; réaliser des opérations préventives dont le but principal est d'assurer le fonctionnement de l'outil de production. D'une manière globale, entretenir c'est subir.

Si l'entretien ne se traduisait que par des interventions, nous pouvons dire que la maintenance est tout autre chose. C'est d'abord un état d'esprit, une manière de penser ; ensuite une discipline nouvelle,

La maintenance doit se doter de moyens permettant : d'intervenir dans de meilleures conditions ; d'appliquer les différentes méthodes en optimisant le coût global.

Actuellement la modernisation de l'outil de production impose une évolution fondamentale dans ce domaine. Cette évolution se traduit par un changement profond pour les entreprises (remplacement de la fonction entretien par la fonction maintenance) ; par une évolution des mentalités.

Cette mutation nécessite des structures nouvelles, des moyens nouveaux et pour le personnel un état d'esprit « maintenance ».

Désormais, nous ne parlerons donc que de maintenance.

Rôle de la maintenance

La maintenance doit assurer la rentabilité des investissements matériels de l'entreprise en maintenant le potentiel d'activité et en tenant compte de la politique définie par l'entreprise. La fonction maintenance sera donc amenée à considérer alors les :

-Prévisions à long terme : liées à la politique de l'entreprise et permettant l'ordonnement des charges, des stocks, des investissements en matériel.

-Prévisions à moyen terme : la volonté de maintenir le potentiel d'activité de l'entreprise conduit à veiller à l'immobilisation des matériels a des moments qui perturbent le moins possible le programme de fabrication.

Dès lors il faut fournir nécessairement et suffisamment tôt le calendrier des interventions de maintenance. Celles-ci ayant une influence sur l'ordonnement des fabrications.

- Prévisions à court terme : dans ce cas le service maintenance s'efforcera de réduire les durées d'immobilisation du matériel et les coûts de ses interventions.

Sachant que les réductions de coûts et d'immobilisation ne sont possibles que si le matériel et les interventions ont fait l'objet d'une étude préalable, il est donc nécessaire de préparer le travail et d'étudier les conditions de fonctionnement, les défaillances possibles, et les conditions d'exécution des interventions.

Le service technique lié à cette fonction doit fournir toutes les informations qualitatives et quantitatives susceptibles d'influencer les politiques particulières de l'entreprise.

II.2. POSITION DU SERVICE MAINTENANCE AU SEIN DE L'ENTREPRISE

La fonction maintenance peut être assurée par un service indépendant appelé service maintenance ; ou par un service technique intégrant les fonctions de fabrication et de maintenance.

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

- **la centralisation** où toute la maintenance est assurée par un service ;
- **la décentralisation**, où le service de maintenance est dépossédé de certaines responsabilités. C'est généralement la maintenance de fabrication qui passe sous le contrôle des services de production et fabrication

Le service central de maintenance peut, à la demande des services ci-dessus, prêter à ceux-ci son atelier et/ou du personnel pour l'accomplissement de certains travaux.

Remarque : Dans les deux cas, le service de maintenance dépendra hiérarchiquement de la direction de l'entreprise ou d'une direction technique.

Le service de maintenance, comme le service de sécurité, devient une interface entre toutes les entités qui composent l'entreprise.

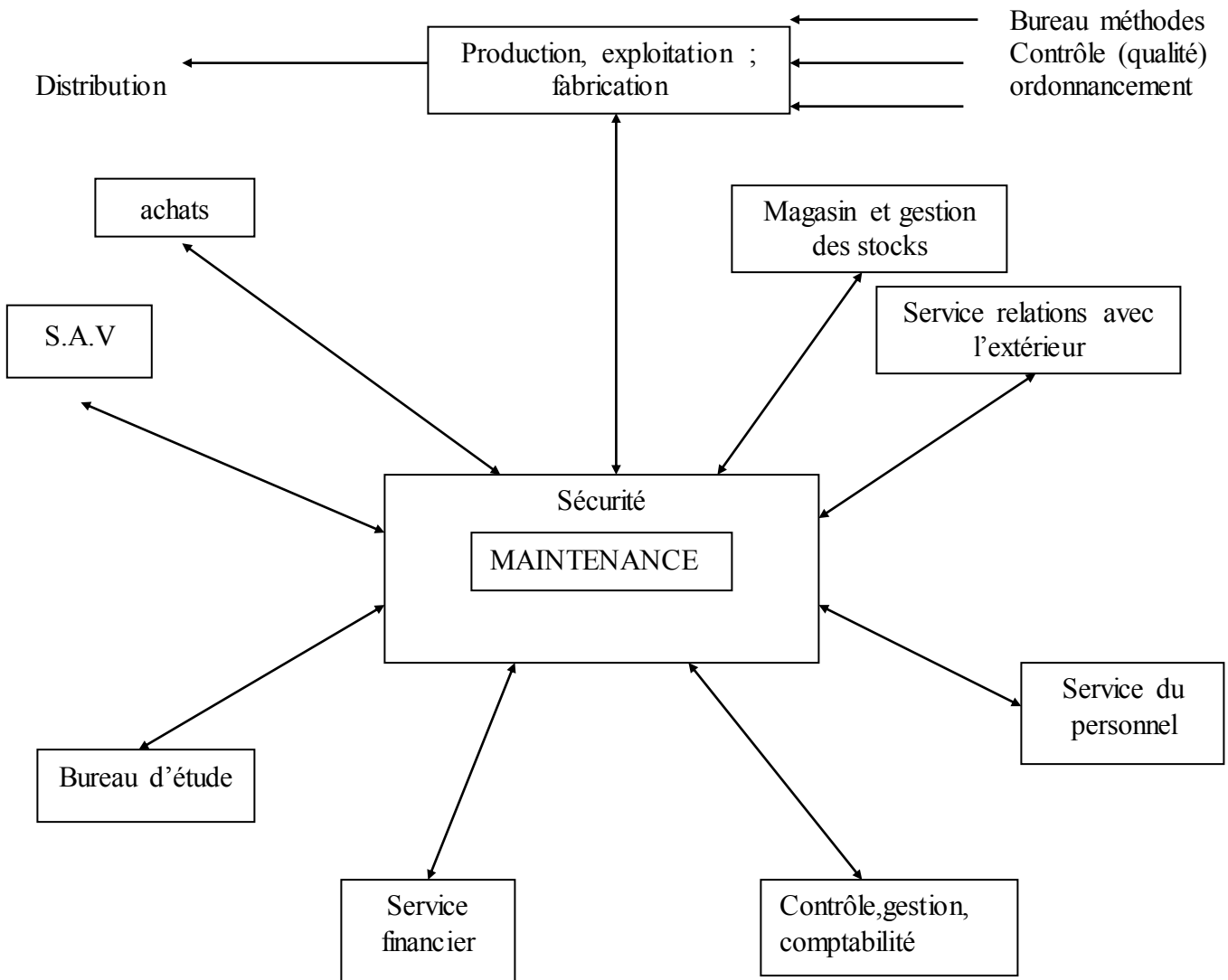


Figure 1.1: Exemple d'organigramme montrant la position et les liaisons du service maintenance avec les autres services

II.3. LES FONCTIONS ET TACHES ASSOCIEES A LA MAINTENANCE

Les principales fonctions sont

i. La fonction « Études et méthodes »

a) Études techniques

- Rechercher des améliorations.
- Participer à la conception des travaux neufs.
- Participer à l'analyse des accidents du travail.

b) Préparation — Ordonnance ment

- Établir les, fiches d'instruction pour la personne et constituer la documentation pour interventions.
- Établir les plannings d'interventions et d'approvisionnements.
- Réceptionner et classer des documents relatifs à l'intervention et remise à jour des dossiers techniques

c) Études économiques et financières

- Gérer les approvisionnements.
- Analyser les coûts de maintenance ; de défaillance et de fonctionnement
- Rédiger le cahier des charges et participer à la rédaction des marchés de travaux.
- Gérer le suivi et la réception des travaux.

d) Stratégie et politiques de la maintenance

- Définir et choisir des procédures de la maintenance.
- Étudier des procédures de déclenchement des interventions.
- Assurer la sécurité dans l'organisation de l'environnement industriel.

ii. La fonction « Exécution mise en œuvre »

Les principales tâches sont :

- Gérer et Piloter l'intervention de la maintenance.
- Appliquer les consignes d'hygiène-sécurité et des conditions de travail.
- Informer et/ou ré informer le personnel sur les équipements (consignes d'utilisation).

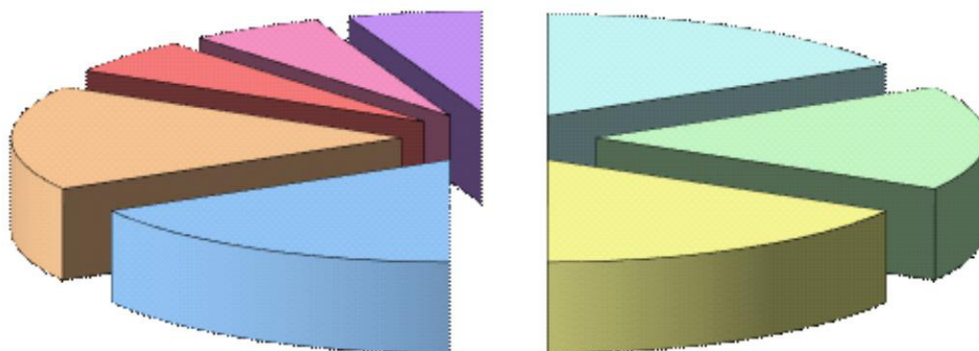
- Gérer l'ordonnancement.
- Gérer les stocks, pièces de rechange, outillages, appareils de contrôle.

iii. La fonction s Documentation »

Elle consiste à créer ; organiser ; animer toute la documentation relative à la maintenance. Les principales tâches sont :

- établir et mettre à jour l'inventaire du matériel, des installations ;
- constituer, compléter les dossiers techniques ; dossiers historiques dossiers économiques ; documentation générale et documentation fournisseurs.

II.4. REPARTITION DES ACTIVITES DE MAINTENANCE.



- Maintenance préventive systématique
- Maintenance préventive conditionnelle
- Maintenance préventive prévisionnelle
- Maintenance corrective : Dépannage
- Maintenance corrective : Réparation
- Installation - montage
- Etude - méthode
- Amélioration

Figure 1.2: Répartition des activités de maintenance

II.5. METHODES DE MAINTENANCE.

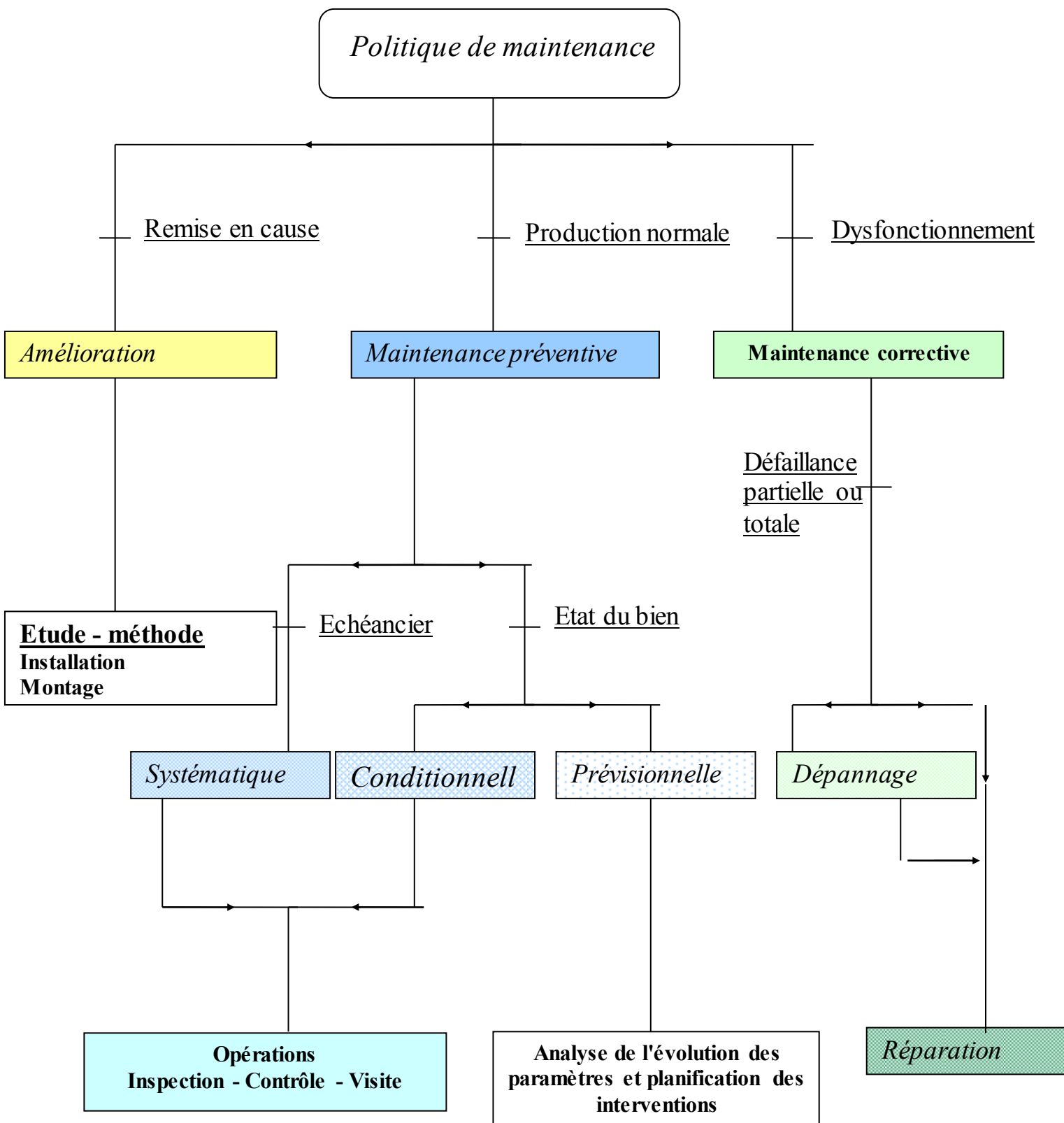


Figure 1.3: Méthodes de maintenance

II.6. DEFINITIONS.

Maintenance :

Ensemble des activités destinées à maintenir, à rétablir un bien dans un état ou dans des conditions données de sûreté de fonctionnement, pour accomplir une fonction requise.

Maintenance corrective :

Maintenance effectuée après défaillance. Suivant la nature des interventions, on distingue deux types de remise en état de fonctionnement :

- La réparation : remise en état de fonctionnement conforme aux conditions données.
- Le dépannage : remise en état provisoire qui sera obligatoirement suivi d'une réparation.

Maintenance préventive :

Maintenance ayant pour objet de réduire la probabilité de défaillance ou de dégradation d'un bien ou d'un service rendu. Les activités correspondantes sont déclenchées selon un échéancier établi à partir d'un nombre prédéterminé d'unités d'usage (maintenance systématique) et/ou de critères prédéterminés significatifs de l'état de dégradation du bien ou du service (maintenance conditionnelle).

Maintenance préventive systématique :

Les remplacements des pièces et des fluides ont lieu quel que soit leur état de dégradation, et de façon périodique.

Maintenance préventive conditionnelle :

Les remplacements ou les remises en état des pièces, les remplacements ou les appoints en fluides ont lieu après une analyse de leur état de dégradation.

Une décision volontaire est alors prise d'effectuer les remplacements ou les remises en état nécessaires.

Maintenance prévisionnelle :

Maintenance préventive subordonnée à l'analyse de l'évolution de paramètres significatifs de la dégradation du bien, permettant de retarder et de planifier les interventions. Elle est parfois improprement appelée maintenance prédictive.

II.7. LES NIVEAUX DE MAINTENANCE. (Extraits de la norme NF X 60-010) [1]

Tableau 1.1: Les niveaux de maintenance

<i>Niveaux</i>	<i>Nature de l'intervention</i>	<i>Compétence de l'intervenant</i>	<i>Lieu de l'intervention</i>	<i>Outillage nécessaire à l'intervention</i>	<i>Stock des pièces de rechange</i>
1 ^e	<ul style="list-style-type: none"> - REGLAGE SIMPLES prévus par le constructeur au moyen d'éléments accessibles sans aucun démontage ou ouverture d'équipement. - ECHANGE d'éléments consommables accessibles en toute sécurité (voyants, certains fusibles...) 	Exploitant du bien	Sur place	Instructions d'utilisation sans outillage	Très faible en pièces consommables
2 ^e	<ul style="list-style-type: none"> - DEPANNAGE par échange standard des éléments prévus à cet effet. - OPERATION MINEURES de maintenance préventive (graissage, contrôle de bon fonctionnement...) 	Technicien habilité de qualification (pouvant travailler en sécurité sur une machine présentant certains risques potentiels)	Sur place	Instructions d'utilisation. Outillage portable défini par les instructions de maintenance.	Pièces de rechange nécessaire transportables sans délai et à proximité du lieu d'exploitation
3 ^e	<ul style="list-style-type: none"> - IDENTIFICATION et DIAGNOSTIC des pannes - REPARATIONS par échange de composants ou éléments fonctionnels - REPARATIONS mécaniques mineures. - Toutes opérations courantes de maintenance préventive (réglage général, réaligement...) 	Technicien spécialisé	Sur place ou Local de maintenance	Outillage prévu dans les instructions de maintenance. Appareils de mesure et de réglage. Bancs d'essais et de contrôle des équipements	Pièces approvisionnées par le magasin
4 ^e	<ul style="list-style-type: none"> - Tous les travaux importants de maintenance corrective ou préventive à l'exception de la rénovation et de la reconstruction. - REGLAGE des appareils de mesure utilisés pour la maintenance. - VERIFICATION des étalons de travail. 	Equipe comprenant un encadrement très spécialisé	Atelier spécialisé	Outillage général. Bancs de mesure et étalons. Toute documentation.	
5 ^e	<ul style="list-style-type: none"> - RENOVATION - RECONSTRUCTION ou exécution des réparations importantes	Constructeur ou Reconstructeur	Atelier central ou Unité extérieure	Moyens proches de la fabrication.	

II.8. LES OPERATIONS DE MAINTENANCE

1. Le dépannage

Action sur un bien en panne, en vue de le remettre en état de fonctionnement ; compte tenu de l'objectif, une action de dépannage peut s'accommoder de résultats provisoires et de conditions de réalisation hors règles de procédures, de coûts et de qualité, et dans ce cas sera suivie de la réparation.

Ainsi le dépannage peut être appliqué par exemple sur des équipements fonctionnant en continu dont les impératifs de production interdisent toute visite ou intervention à l'arrêt.

2. La réparation

Intervention définitive et limitée de maintenance corrective après défaillance.

3. Les inspections

Ce sont des activités de surveillance consistant à relever périodiquement des anomalies et exécuter des réglages simples ne nécessitant pas d'outillage spécifique ni d'arrêt de l'outil de production ou des équipements.

4. Les visite

Ce sont des opérations de surveillance qui, dans le cadre de la maintenance préventive systématique, s'opèrent selon une périodicité prédéterminée.

Ces interventions correspondent à une liste d'opérations définies au préalable qui peuvent entraîner des démontages d'organes et une immobilisation du matériel.

5. Les contrôles

Ils correspondent à des vérifications de conformité par rapport à des données préétablies suivies d'un jugement.

Le contrôle peut : comporter une activité d'information ; inclure une décision : acceptation, rejet, ajournement ; déboucher comme les visites sur des opérations de maintenance corrective.

Les opérations de surveillance (inspection, visite, contrôle) sont nécessaires pour maîtriser l'évolution de l'état réel du bien, effectuées de manière continue ou à des intervalles prédéterminés ou non, calculés sur le temps ou le nombre d'unités d'usage,

6. Les révisions

Ensemble des actions d'examens, de contrôles et des interventions effectuées en vue d'assurer le bien contre toute défaillance majeure ou critique, pendant un temps ou pour un nombre d'unités d'usage donné.

7. Les échanges standards

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

III. LA QUALITE

III.1. INTRODUCTION.

- * Pour acheter un produit il faut qu'il soit fabriqué.
- * Pour qu'il soit fabriqué, il faut qu'un industriel ait deviné que nous allons en avoir besoin.
- * Le service qui s'occupe de cela est le service Marketing.
- * Un des outils du service marketing est le sondage.

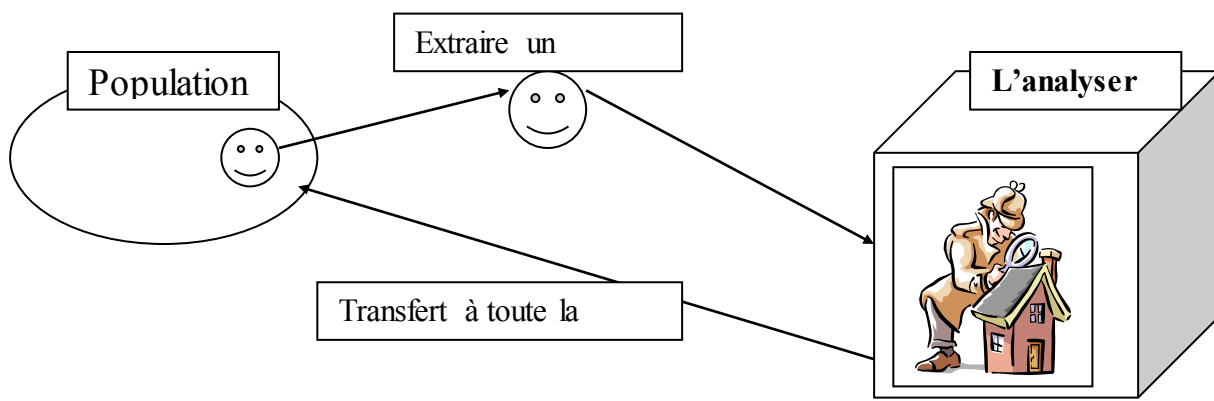


Figure 1.4: Le sondage du service marketing

Avant il était simple d'afficher : Prix de vente = Prix de revient + Bénéfice

Maintenant la concurrence oblige : Marge = Prix de vente (prix du marché) – Coûts

Ce qui implique que :

Pour augmenter leurs marges les entreprises doivent baisser leurs coûts de production.

III.2. LE CONCEPT QUALITE.

Il est désagréable d'avoir acheté un produit qui ne correspond pas à ce que l'on attend de lui :

On dit qu'il est **de mauvaise qualité**.

Pour un produit donné la qualité s'apprécie plus en fonction des services qu'il rend à l'utilisateur que par rapport à ses performances.

En conclusion (suivant NF X 50-120) : [1]

La qualité est l'ensemble des propriétés et caractéristiques d'un produit ou service qui lui confèrent l'aptitude à satisfaire des besoins exprimés ou implicites.

Il peut être intéressant de distinguer :

- Les caractéristiques d'état et les performances qui sont connues au moment de l'achat.
- Et les caractéristiques d'usage, qui ne peuvent s'apprécier qu'avec le temps, telles que : la sécurité, la fiabilité, la durabilité, ...

III.3. LES ENJEUX DE LA QUALITE.

La qualité s'impose dans tous les échanges de biens et de services et **doit être présente dans toutes les activités économiques**.

Ces préoccupations de qualités à objectif économique répondent à quatre enjeux :

■ **La sécurité des personnes et des biens**. Cet impératif de sécurité doit être présent partout à la fois :

- Dans les secteurs à risque : aérospatial, nucléaire, chimique, ...
- Mais également dans tous les biens de grande consommation : jouets, produits d'entretien, appareils électroménagers, ...

■ Le maintien et le développement des ventes de l'entreprise.

Le maintien d'une bonne qualité fidélise la clientèle.

L'amélioration de la qualité et **l'innovation** accroissent la compétitivité de l'entreprise et permettent la conquête de nouveaux marchés.

■ La réduction des coûts industriels.

La suppression de tous les coûts liés à la non-qualité améliore la rentabilité de l'entreprise qui s'engage ainsi sur la voie des "**cinq zéros olympiques**" :

- **Zéro défaut** : tous les produits sont conformes aux spécifications requises,
- **Zéro délai** : les produits sont livrés au bon moment, ni trop tôt ni trop tard,
- **Zéro stock** : à un moment donné les produits fabriqués correspondent aux besoins des clients,
- **Zéro panne** : les machines sont disponibles et en bon état pour fabriquer des produits fiables,
- **Zéro papier** : aucun document inutile n'est mis en circulation.

■ Le développement de la communication.

La recherche de la qualité impose un **dialogue** :

- A l'intérieur de l'entreprise, entre les salariés,
- Et à l'extérieur de l'entreprise avec les utilisateurs.

III.4. COUT DE LA QUALITE.

1/ Notion de fiabilité.

A l'achat d'un produit un utilisateur souhaite : que la qualité dure longtemps
que le produit reste fiable.

La fiabilité est le maintien de la qualité dans le temps.

C'est l'aptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, pendant une durée donnée.

2/ Coût global d'un produit pour son utilisateur.

Pour la réalisation d'un produit conforme au besoin il est nécessaire d'associer en permanence :

- Les paramètres techniques,
- Et les impératifs de qualité et de sûreté de fonctionnement, avec leurs conséquences économiques, c'est à dire leurs coûts.

Pour un client, il lui faut éventuellement ajouter à son prix d'achat des frais accessoires tels que :

- Transport,
- Installation, montage,
- Coût de crédit,...

Pour obtenir le coût d'acquisition du produit.

L'utilisateur du produit ainsi acquis va encore supporter des coûts :

■ **Coût d'indisponibilité** qui peut se traduire par ce que coûte la défaillance du produit : aléa de production, coût de la maintenance, remplacement du produit, ...

■ **Coût d'usage** qui regroupe les charges liées au fonctionnement du produit, à sa dépréciation, à son obsolescence, ...

Les coûts d'indisponibilité et d'usage représentent le coût d'utilisation du produit (Figure 1.5).

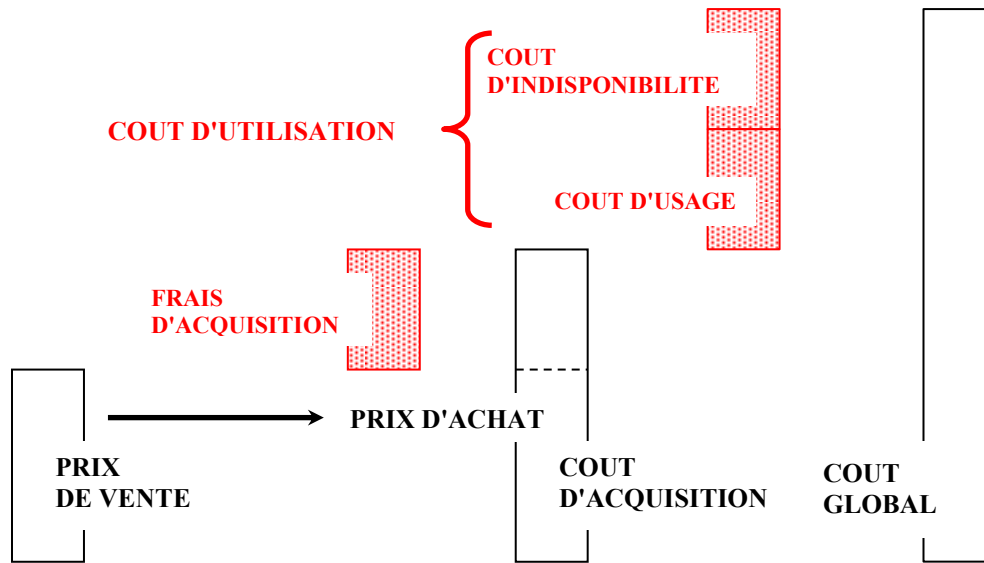


Figure 1.5: Composantes du coût global d'un produit pour son utilisateur

3/ Compromis coût-qualité.

L'obtention d'une bonne qualité passe par des dépenses et des investissements.

Si dans des secteurs à haut risque, tel l'espace, la qualité n'a pas de prix, il n'en est pas de même dans d'autres secteurs où il est recherché un compromis coût-qualité.

- Fig. 2 : les charges liées, à la fiabilité (courbe 1) diminuent lorsque les dépenses engagées pour son amélioration augmentent (courbe 2) ; la somme des ordonnées de ces deux courbes représente le coût de revient total du couple coût-fiabilité (courbe 3) ; le tracé de cette dernière met en évidence une zone optimale pour les dépenses et les investissements à engager.

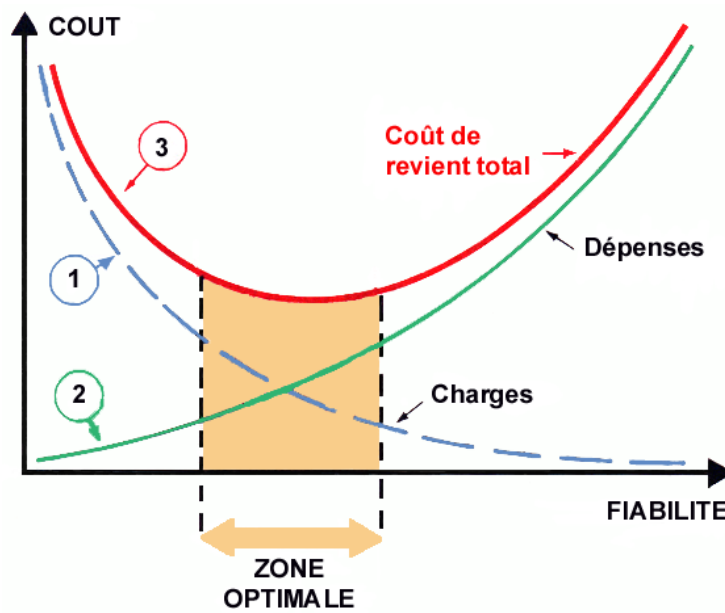


Figure 1.6: coût de revient total du couple coût-qualité son utilisateur

Niveau de qualité acceptable : (NQA)

- Une entreprise qui fabrique des produits convient avec son producteur de composants que ces derniers seront livrés avec un certain pourcentage de défauts, c'est un compromis pour un niveau de qualité acceptable (NQA) qui réduit les coûts de fabrication des composants.

4/ Qualité total et cercle de qualité.

Dans une entreprise le coût d'obtention de la qualité regroupe à la fois :

- Ce que coûte la mise en conformité des produits ou des services avec les besoins de l'utilisateur,
- Ce que coûte éventuellement leur non-qualité.

Pour rendre minimale cette somme il est nécessaire que tous les membres de l'entreprise participent à cette recherche de qualité suivant une démarche de qualité totale

Cette démarche de qualité total peut se structurer à partir des cercles de qualité.

Un cercle de qualité est un groupe permanent de cinq à dix volontaires appartenant à une même unité de travail (bureau, laboratoire, atelier, ...), ou ayant des préoccupations professionnelles communes.

Au cours de leurs réunions ces personnes recherchent :

- Une meilleure organisation de leur travail,
- Un développement de leur culture professionnelle,
- Une amélioration de la qualité de leurs travaux...

Ces cercles créent une dynamique de concertation efficace sur l'amélioration de la qualité.

IV. CONCLUSION

Au cours de ce chapitre, on peut résumer que la maintenance s'efforcera de réduire les durées d'immobilisation du matériel et les coûts de ses interventions.

Sachant que les réductions de coûts et d'immobilisation ne sont possibles que si le matériel et les interventions ont fait l'objet d'une étude préalable, il est donc nécessaire de préparer le travail et d'étudier les conditions de fonctionnement, les défaillances possibles, et les conditions d'exécution des interventions.

Donc optimiser la fiabilité est de maintenir la qualité dans le temps et doit être présente dans toutes les opérations

Vu l'importance accordée à la maintenance dans l'entreprise, le bon choix des méthodes et des outils de gestion est recommandé afin d'assurer le bon fonctionnement de celle -ci.

Chapitre 2

Notions de Base de la Fiabilité

CHAPITRE II - NOTIONS DE BASE DE LA FIABILITE

II.1. - Introduction :

L'analyse de la fiabilité constitue une phase indispensable dans toute étude de sûreté de fonctionnement. A l'origine, la fiabilité concernait les systèmes à haute technologie (centrales nucléaires, aérospatial). Aujourd'hui, la fiabilité est devenue un paramètre clé de la qualité et d'aide à la décision, dans l'étude de la plupart des composants, produits et processus "grand public" : Transport, énergie, bâtiments, composants électroniques, composants mécaniques....

De nombreux industriels travaillent à l'évaluation et l'amélioration de la fiabilité de leurs produits au cours de leur cycle de développement, de la conception à la mise en service (conception, fabrication et exploitation) afin de développer leurs connaissances sur le rapport

Coût/Fiabilité et maîtriser les sources de défaillance.

Ce chapitre concerne l'étude de la théorie de la fiabilité, définit la fiabilité ainsi que les grandeurs qui la caractérisent. Nous verrons que ces paramètres pourront être estimés. Par la suite, on présente les notions de maintenabilité et de disponibilité.

La fiabilité nom féminin, de l'adjectif fiable, issu du verbe se fier, évolution du latin populaire "fidare" [3].

La maintenance est par analogie, l'équivalent de la médecine. La fiabilité correspond alors à la bonne santé d'un être humain [2].

Si pour l'homme la préoccupation a été toujours d'être en bonne santé, se nourrir bien et vivre longtemps, pour un chef d'entreprise sa principale préoccupation pour être compétitif est d'avoir un parc matériel "fiable", "disponible" et "durable". Effet de mode peut être, la fiabilité ne cesse de prendre de l'importance et de connaître des progrès de jour en jour.

II.2. Généralités

La maintenance est définie comme étant « l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé ».

II.2.1. Définition de la panne

C'est "l'état d'une entité inapte à accomplir une fonction requise, dans des conditions données d'utilisation" [1]. Ainsi, la panne est l'état dans lequel se trouve le système consécutivement à une défaillance. Lors de la remise en service, l'entité peut à nouveau accomplir sa fonction

II.2.2. Définition de la défaillance :

C'est " la cessation de l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise, qui passe dans l'état de panne [1]. Donc c'est une perte partielle ou totale des propriétés d'un élément qui diminue significativement ou bien entraîne la perte de sa capacité de fonctionnement. On distingue selon la vitesse de variation de ces propriétés deux types de défaillance :

- **Les défaillances graduelles** : Elles se caractérisent par une variation progressive des paramètres déterminant la fiabilité du système. Ce type de défaillance est prépondérant pour le matériel mécanique, pour lequel se manifeste l'usure des composants après une certaine durée de fonctionnement.
- **Les défaillances subites** : Contrairement aux défaillances graduelles, les défaillances subites sont dues à une perte totale des propriétés du système entraînant son incapacité de fonctionnement. Ce type de défaillance caractérise spécialement le matériel électronique.

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

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

Défaillance de matériel ou système

La défaillance est une perte partielle ou totale des propriétés d'un élément qui diminuent significativement et entraîne la perte totale de sa capacité de fonctionnement.

* Paramètres d'identification des défaillances :

On pourra identifier les défaillances et les classer à partir d'une combinaison de paramètres repartis en six groupes en fonction de :

a. Causes fondamentales d'apparition :

- La faiblesse inhérente (intrinsèque) :

Défaillance attribuable à une faiblesse inhérente au matériel lui-même lorsque les contraintes sont dépassées les capacités du matériel au-delà des possibilités données de celui-ci.

- Le mauvais emploi (extrinsèque) :

Défaillance attribuable à l'application de contraintes au-delà des possibilités données du matériel.

- Défaillance première :

Défaillance d'un matériel dont la cause directe ou indirecte n'est pas due à la défaillance d'un autre équipement.

- Défaillance seconde :

Défaillance d'un matériel dont la cause directe ou indirecte est due à la défaillance d'un autre équipement.

b. La vitesse de manifestation des défaillances :

- Les défaillances graduelles :

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

- Les défaillances subites :

Elles sont dues à une perte totale des propriétés du système entraînant l'incapacité de fonctionnement. Ce type de défaillance caractérise spécialement un matériel électronique.

c. En fonction de leur amplitude :

- Les défaillances partielles :

Elles résultent de la déviation d'une ou des caractéristiques au-delà des limites spécifiées, mais telles qu'elles n'entraînent pas une disparition complète de la fonction requise.

II.2.3. Matériel réparable C'est un matériel qui peut être remis en fonctionnement après avoir subi une défaillance. La vie d'un tel matériel peut être décrite à l'aide du chronogramme (voir la figure 2.1) :

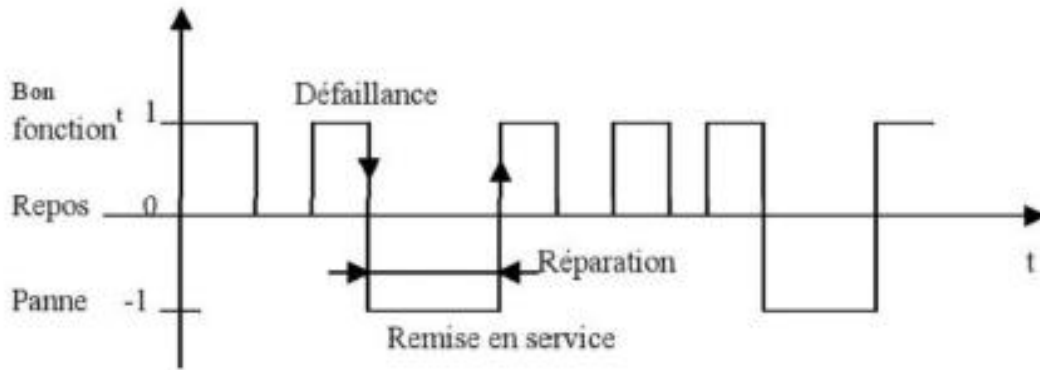


Figure 2.1: Chronogramme d'un matériel réparable

II.2.4. Matériel irréparable C'est le matériel qui ne peut être remis en fonctionnement que ce soit pour des raisons techniques ou économiques. La figure (2.2) représente la vie d'un matériel irréparable.

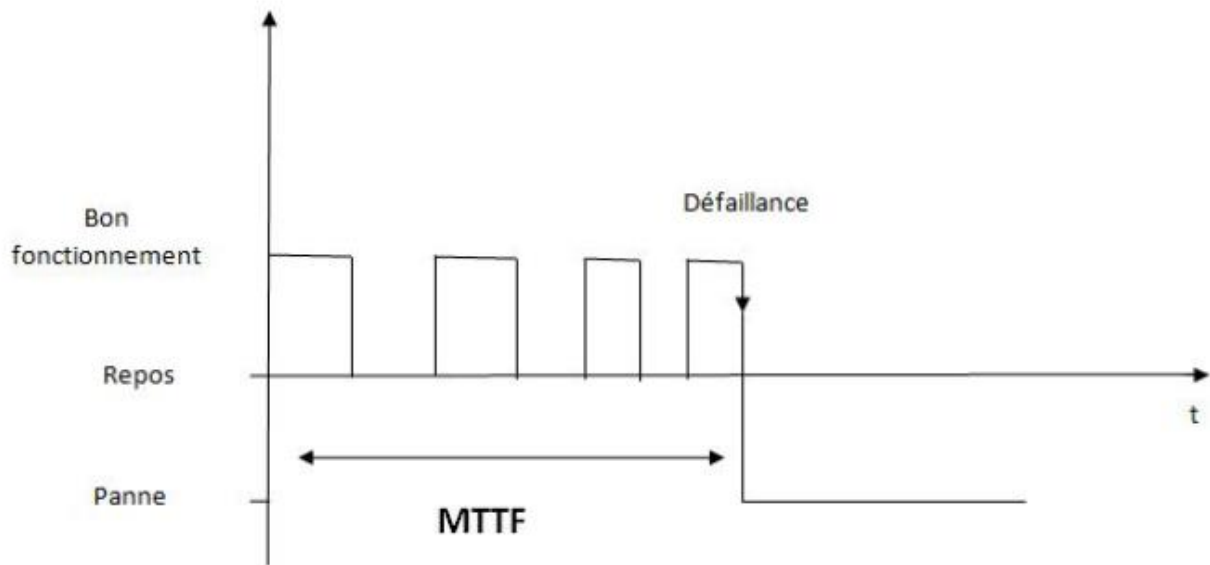


Figure 2.2: Chronogramme d'un matériel irréparable

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

II.2.5. Les grandeurs de temps

La vie d'un composant comporte des cycles de fonctionnement. Au cours d'un cycle, l'état du composant passe de l'état " en fonction " a l'état " hors d'usage

Si nous analysons ce cycle, nous remarquons qu'il est composé de temps moyen entre panne (MTBF). Elle comporte la MUT (Mean Up Time) la moyenne de temps de fonctionnement, calculée à partir de l'Esperance mathématique de la variable aléatoire X en utilisant une loi de probabilité R(t) ajustée à un échantillon de n valeurs de TBF relevés. L'expression du MUT est donnée par l'équation :

$$MUT = E(t) = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

Et la MDT (Mean Down Time) qui est la moyenne de temps de panne. Cette dernière est composée de la moyenne de temps technique de réparation MTTR (Mean Time To Repaire) qui est le principal indicateur de maintenabilité. Elle peut être obtenue par la moyenne statistique d'un échantillon de valeurs TTR ou par l'espérance mathématique de TTR obtenue à partir d'un modèle probabiliste.

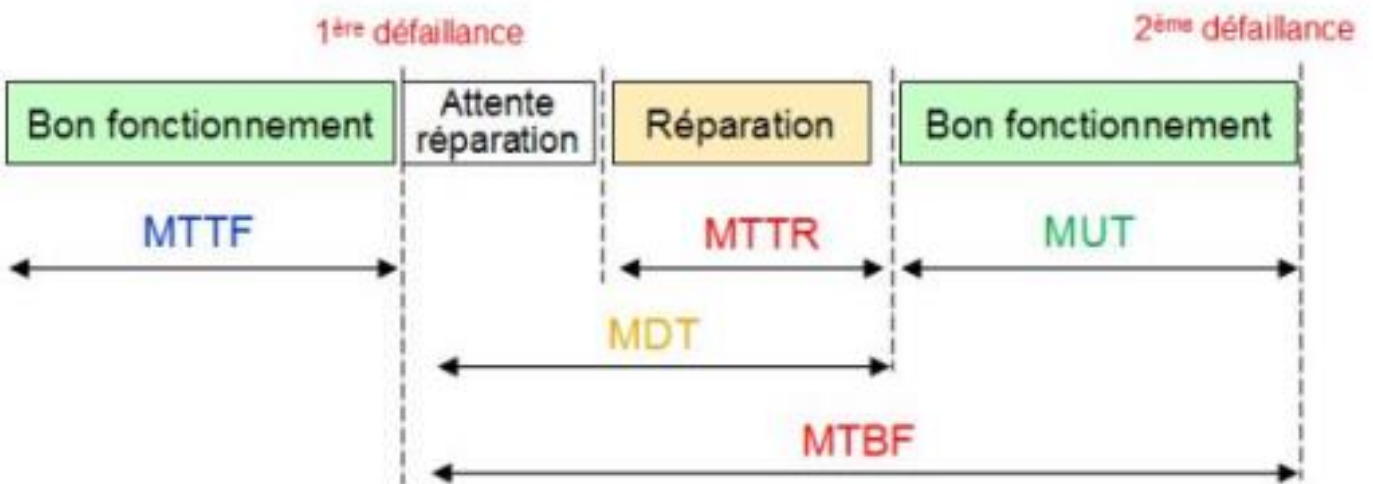


Figure 2.3 – La présentation des différentes grandeurs de temps

Définitions

MTTF - Mean Time To Failure Durée moyenne de fonctionnement d'une entité avant la première défaillance $MTTF = \int[0;+\infty[R(x).dx$

MTTR - Mean Time To Repair Durée moyenne de réparation $MTTR = \Sigma \text{ Temps d'arrêt} / \text{Nombre d'arrêts}$

MUT - Mean Up Time Durée moyenne de fonctionnement après réparation

MDT - Mean Down Time Durée moyenne d'indisponibilité (temps de détection de la panne + temps de réparation + temps de remise en service)

MTBF - Mean Time Between Failure Durée moyenne des temps de bon fonctionnement entre deux défaillances consécutives

$MTBF = \Sigma \text{ Temps de bon fonctionnement} / \text{Nombre de défaillances ou nombre de période de bon fonctionnement}$

II.3. Fiabilité et sûreté de fonctionnement :

La Sûreté de Fonctionnement (SdF) représente au sens large la science des défaillances. Elle vise à mettre en place des systèmes dans lesquels les défaillances sont prévues et tolérables.

Derrière ce concept, la notion de confiance est fondamentale. La SdF d'un système est la propriété qui permet de placer une confiance justifiée dans le service qu'il délivre.

Définition 1

La SdF correspond à l'ensemble des aptitudes d'un bien qui lui permet de remplir une fonction requise au moment voulu, pendant la durée prévue, sans dommage pour lui-même et son environnement.

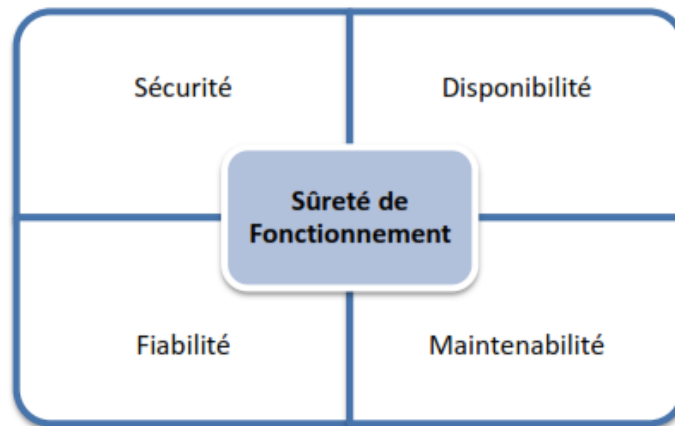


Figure 2.4: Les concepts associés à la SdF

La SdF s'appuie généralement sur quatre concepts majeurs : la sécurité, la disponibilité, la fiabilité et enfin la maintenabilité (figure 2.4). Il convient de définir succinctement ces différents concepts pour replacer la fiabilité dans son contexte.

Définition 2

La sécurité d'une entité est définie comme son aptitude à éviter de faire apparaître, dans des conditions données, des événements critiques ou catastrophiques.

Cette composante de la SdF s'avère primordiale pour les entités où le risque de dommages corporels à l'encontre de l'utilisateur ou de l'environnement est jugé important.

Définition 3

La disponibilité d'une entité est définie comme son aptitude à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné, en supposant que la fourniture de moyens extérieurs nécessaires soit assurée (AFNOR, 1988).[1]

A partir du moment où l'on constate un problème au niveau de la sécurité ou de la disponibilité de l'entité, la fiabilité se retrouve au centre des débats.

"Aptitude d'un bien, sous les aspects combinés de sa fiabilité, maintenabilité et de l'organisation de la maintenance, à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions de temps déterminées" (NF X60-010). [1]

COMMENTAIRES

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

- avoir le moins possible d'arrêts de production
- être rapidement remis en bon état s'il tombe en panne

La disponibilité d'un équipement dépend de nombreux facteurs :

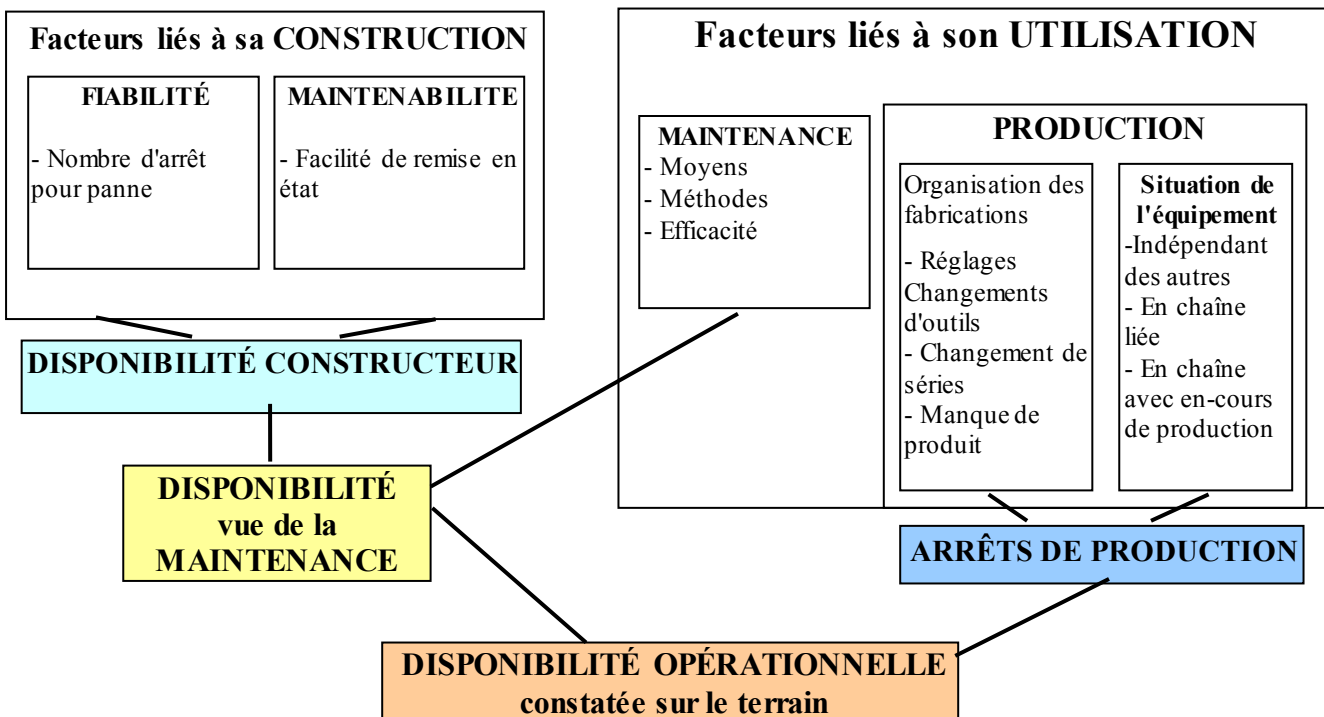


Figure 2.5 – facteurs influents la disponibilité

La disponibilité allie donc les notions de fiabilité et de maintenabilité

Définition 4

La **fiabilité** est l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise ou à satisfaire les besoins des utilisateurs, dans des conditions données, pendant une durée donnée (AFNOR, 1988).

Cette aptitude se mesure par la probabilité que l'entité remplisse sa fonction sur une période de temps donnée (Smith, 1997). Enfin, quand un dysfonctionnement apparaît sur l'entité et qu'il faut intervenir pour rétablir ses fonctionnalités, le concept de la maintenabilité est introduit.

Aptitude d'un bien à accomplir une fonction acquise dans des conditions données pendant un temps donné ou "caractéristique d'un bien exprimée par la probabilité qu'il accomplisse une fonction requise dans des conditions données pendant un temps donné » NF * 50 - 500. [1]

La notion de temps peut prendre la forme :

- de nombre de cycles effectués \Rightarrow **machine automatique**
- de distance parcourue \Rightarrow **matériel roulant**
- de tonnage produit \Rightarrow **équipement de production**

Défiabilité

A l'inverse de la fiabilité, la défiabilité est la probabilité que l'entité ait connu une défaillance pendant une durée donnée.

Elle est notée $F(t)$

$F(t)$ = probabilité que l'entité soit défaillante dans l'intervalle de temps $[0;t]$

$F(t) = 1 - R(t)$

Commentaires

* Un équipement est fiable s'il subit peu d'arrêt pour pannes.

* La notion de fiabilité s'applique :

- à du système réparable \Rightarrow **équipement industriel ou domestique.**
- à des systèmes non réparables \Rightarrow **lampes, composants donc jetables**

La fiabilité d'un équipement dépend de nombreux facteurs :

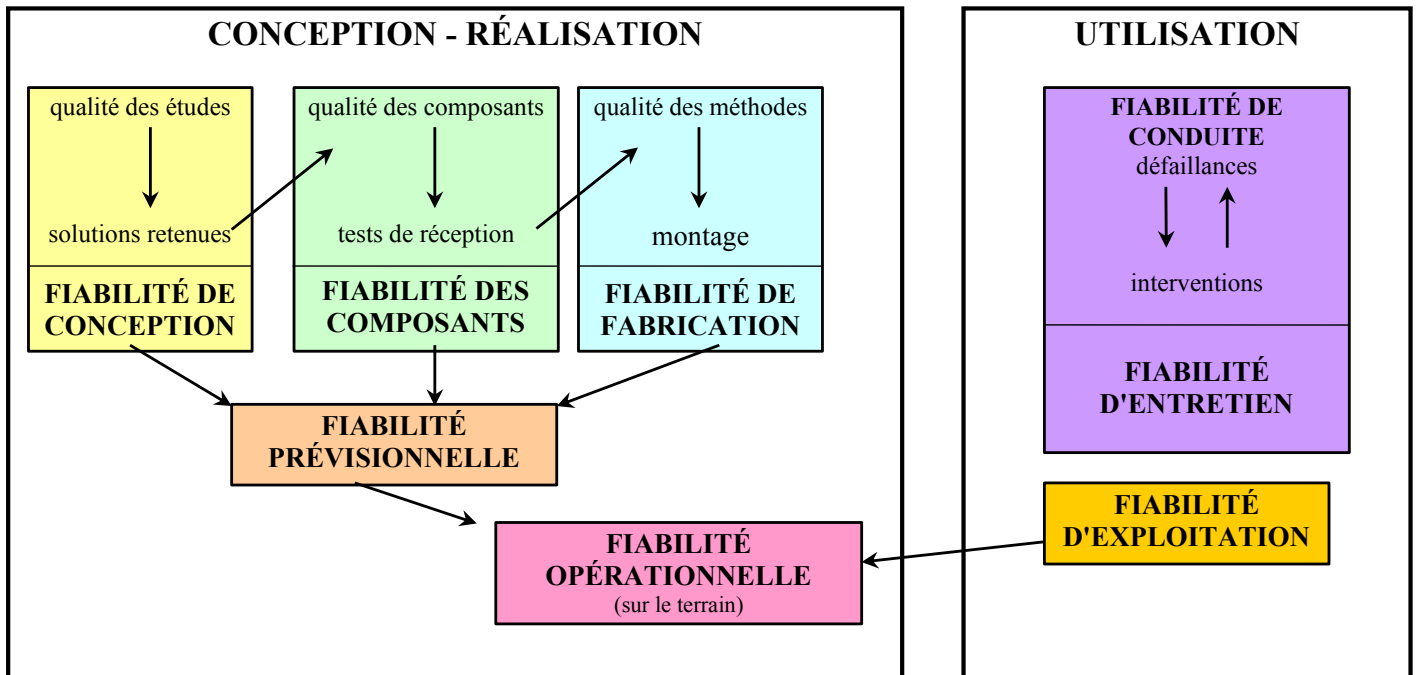


Figure 2.6 – facteurs influents la fiabilité

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

1. La fiabilité prévisionnelle : c'est celle qui est déterminée, durant la phase de conception, sur la base d'un modèle mathématique défini à partir des données de fiabilité de ses composants.
2. La fiabilité estimée : c'est la fiabilité mesurée après avoir conçu le système et ceci à l'aide d'un ensemble d'essais.
3. La fiabilité opérationnelle : c'est la fiabilité mesurée sur un matériel en exploitation. Elle dépend des conditions réelles d'exploitations et du support logique.

Calcul de la MTBF

La fiabilité peut se caractériser par la Moyenne des temps de bon fonctionnement ou MTBF (Mean Time Between Failure).

Il se calcule ainsi :

Si le MTBF est calculé suite à un TBF

$$MTBF = \text{Temps total d'opération} / \text{Nombre d'arrêts} + 1$$

Si le MTBF est calculé suite à un TA

$$MTBF = \text{Temps total d'opération} / \text{Nombre d'arrêts}$$

Définition 5

La maintenabilité d'une entité est définie comme son aptitude à être maintenue ou rétablie, sur un intervalle de temps donné, dans un état dans lequel elle peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et moyens prescrits (AFNOR, 1988).

" Dans les conditions d'utilisation données pour lesquelles il a été conçu, aptitude d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits." (NF X60-010) [1]

Commentaires

- * La maintenabilité caractérise la facilité à remettre ou de maintenir un bien en bon état de fonctionnement.
- * Cette notion ne peut s'appliquer qu'a du matériel maintenable ; donc réparable.
- * "Les moyens prescrits" englobent des notions très diverses : moyens en personnel, appareillages, outillages, ...

La maintenabilité d'un équipement dépend de nombreux facteurs :

Tableau 2.1 – facteurs influents la maintenabilité

Facteurs liés à l' EQUIPEMENT	Facteurs liés au CONSTRUCTEUR	Facteurs liés à la MAINTENANCE
- documentation - aptitude au démontage - facilité d'utilisation	- conception - qualité du service après-vente - facilité d'obtention des pièces de rechange - coût des pièces de rechange	- préparation et formation des personnels - moyens adéquats - études d'améliorations (maintenance améliorative)

On peut améliorer la maintenabilité en :

- **développant les documents d'aide à l'intervention**
- **améliorant l'aptitude de la machine au démontage (modifications risquant de coûter cher)**

- améliorant l'interchangeabilité des pièces et sous ensemble.

Calcul de la maintenabilité

La maintenabilité concerne l'action de maintenance comme telle. Par la maintenabilité, on recherche l'optimisation du temps d'intervention afin d'augmenter le temps de production en diminuant les délais dûs au :

- Temps pour l'attente de pièce de remplacement
- Temps pour compléter les documents
- Temps de préparation de l'action

Son indice est le MTTR et se calcule de manière suivante :

MTTR = Temps total d'arrêts / Nombre d'arrêts

La maintenabilité peut se caractériser par sa MTTR (Mean Time To Repair) ou encore Moyenne des Temps Techniques de Réparation

Taux de réparation μ

Il est égal à l'unité de temps sur la MTTR :

$$\mu = 1 / \text{MTTR}$$

II.4. Fiabilité des systèmes

Lorsque les équipements sont composés de plusieurs équipements formant ainsi un système, il faut ajuster le calcul de la fiabilité au système.

De façon générale, les systèmes sont en série ou en parallèle.

a) .Système en série

Un système constitué de n éléments est dit en série si la défaillance d'un élément entraîne celle du système et si les défaillances sont indépendantes.

Systeme en série

La fiabilité résultante est donnée par:

La fiabilité résultante est donnée par:

$$R(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t)$$

$$i=1$$

La fiabilité du système en série se calcul ainsi:

$$R(t) = R_1(t) \times R_2(t) \times R_3(t) \times \dots \times R_n(t)$$

b) . Système en parallèle

Un système est dit en parallèle s'il suffit qu'un seul des éléments fonctionne pour que le système fonctionne.

Système en parallèle

La fiabilité résultante est donnée par:

$$R(t) = 1 - \sum_{i=1}^n (1 - R_i(t))$$

La fiabilité du système en série se calcule ainsi:

$$R(t) = 1 - ((1 - R_1(t)) \times (1 - R_2(t)) \times \dots \times (1 - R_n(t)))$$

Remarque:

Plus il y a de composantes en parallèle, meilleure est la fiabilité.

Habituellement, on utilise cette propriété pour accroître la sécurité de fonctionnement d'un système.

EN CONCLUSION

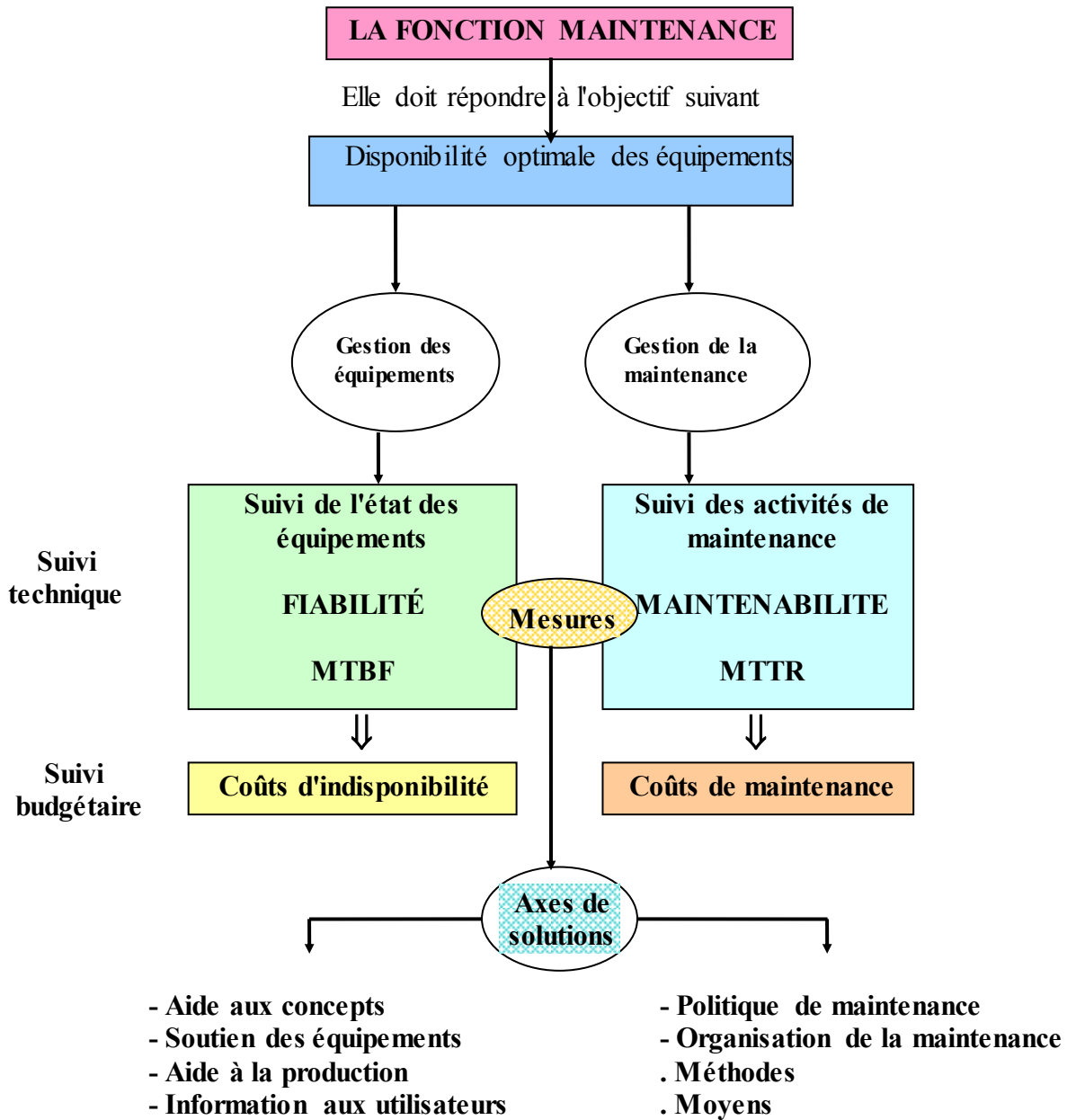


Figure 2.7 – Synthèse

Augmenter la disponibilité passe par :

- l'allongement de la MTBF (action sur la fiabilité)
- la notion de le MTTR (action sur la maintenance)

II.5. Relation entre fiabilité, maintenabilité et disponibilité

Une fiabilité parfaite (c.-à-d., aucune défaillance pendant la vie du système) est difficile à réaliser. Même lorsqu'un bon niveau de fiabilité est réalisé, quelques défaillances sont prévues. Les effets des défaillances sur le coût de disponibilité des systèmes réparables peuvent être réduits au minimum avec un bon niveau de maintenabilité. Un système qui est fortement maintenable peut être remis au plein fonctionnement dans un minimum de temps avec un minimum dépense de ressources. La valeur de la disponibilité est un compromis entre la durée moyenne pour le quelle le produit est disponible pour effectuer ces fonctions et le temps de non-fonctionnement pour cause de panne, réparation ... etc. cela implique que la fiabilité du produit soit mise en balance avec les performances du service de maintenance afin d'obtenir la même valeur de disponibilité dans tous les cas [4].

II.6. Conclusion

Dans de ce chapitre, on a défini la fiabilité et la défaillance d'un système. Il est important de connaître les grandeurs de fiabilité et les mécanismes de défaillance pour pouvoir implanter un système de maintenance efficace et rentable. Puis, on a défini la maintenabilité et la disponibilité qui sont deux concepts liés à l'efficacité du système de gestion de la maintenance.

Chapitre 3

Les lois de fiabilité

III LES LOIS DE FIABILITE

III.1. INTRODUCTION

Ce chapitre concerne l'étude de la théorie de la fiabilité, définit la fiabilité ainsi que les grandeurs qui la caractérisent. Nous verrons que ces paramètres pourront être estimés. Par la suite, on présente les principales lois de probabilité utilisées en fiabilité, ainsi que l'analyse de Pareto pour déterminer la minorité de causes responsables de la majorité des effets

III.2. EXPLOITATION DES HISTORIQUES

Les historiques de machines semblables peuvent être réunis pour une exploitation unique,

L'exploitation peut se faire à quatre niveaux :

- analyse d'un parc de machines standardisées,
- analyse globale d'une machine,
- analyse par groupes fonctionnels,
- étude des modules et des organes (composant) fragiles.

a) Exploitation en fiabilité

On déduit de l'historique d'une des lois de fiabilité (Weibull), l'évolution de ses taux de défaillance $\lambda(t)$, sa MTBF, sa durée de vie nominale L_{10} , les périodes d'intervention correspondant à des seuils de fiabilité prédéterminés...

Elle implique la mise en mémoire des TBF (temps de bons fonctionnement = intervalles entre pannes) donc la saisie des dates de pannes.

b) Exploitation en disponibilité

La disponibilité se détermine à partir du modèle

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

Elle implique donc la mise en mémoire des TTR (temps techniques de réparation), soit en « durées d'intervention », soit en « durée d'arrêt » en plus des données de fiabilité précédentes.

c) Exploitation en « méthodes »

- Sélection et amélioration des organes fragiles.
- Préparation des pannes fréquentes et coûteuses après sélection.

d) Exploitation en « gestion des stocks »

L'historique peut fournir des éléments de consommation de pièces ou de modules.

e) Exploitation en « politique de maintenance »

Elle implique la saisie des temps et des coûts d'intervention (à chaque OT, son coût direct main d'œuvre + matières).

Elle permet la ventilation des coûts :

- par machine, par groupe fonctionnel,
- par atelier, par type de machine,
- par type de défaillance,
- par type d'intervention.

Elle permet la tenue d'un « tableau de bord de gestion », la formation de « ratios », la synthèse d'informations technico-économiques permettant de choisir une méthode de maintenance adaptée à l'équipement dont on possède l'historique.

f) Cas de micro-défaillances

Attention à ne pas négliger le « poids » des micro-défaillances répétitives, donc pénalisantes, et souvent non saisies sur les historiques.

III.3. Définitions

La fiabilité caractérise l'aptitude d'un système ou d'un matériel à accomplir une fonction requise dans des conditions données pendant un intervalle de temps donné.

La fiabilité est l'étude de la durée de vie d'un matériel.

- Ce chapitre étudie la variable aléatoire qui à chaque matériel, associe son temps de bon fonctionnement. Son espérance mathématique et la moyenne des temps de bon fonctionnement ou **MTBF**.
- L'analyse d'un échantillon permet de justifier que cette variable aléatoire suit une loi **exponentielle** ou une loi de **Weibull**.

T désigne la variable aléatoire qui, à tout dispositif tiré au hasard, associe son temps de bon fonctionnement (Time Between Failures) ou sa durée de vie avant une défaillance. Pour simplifier, nous choisissons comme origine des temps l'instant $t = 0$ où le dispositif choisi est mis en marche, soit pour la première fois, soit après une réparation qui l'a remis à neuf. Alors T mesure ainsi l'instant où apparaît la première défaillance d'un dispositif pris au hasard dans la population considérée, à partir de l'instant $t = 0$.

III.4. Fonction défaillance. Fonction de Fiabilité.

T est une variable aléatoire continue à valeurs positives et possédant une densité de probabilité f .

Définition 1 : La fonction défaillance est définie par :

$$F(t) = P(T \leq t) = \int_0^t f(t) dt \text{ pour } t \geq 0$$

$F(t)$ est la probabilité qu'un dispositif prélevé au hasard dans la population considérée ait une défaillance avant l'instant t .

Définition 2 : La fonction de fiabilité est définie par :

$$R(t) = P(T > t) = 1 - F(t) \text{ pour } t \geq 0$$

$R(t)$ est la probabilité qu'un dispositif prélevé au hasard dans la population considérée n'ait pas de défaillance avant l'instant t .

- F est la fonction de répartition de la variable aléatoire T.
- En anglais fiabilité est traduit par **reliability**.

Définition 3 : **MTBF** : Soit T la variable aléatoire qui, à chaque matériel, associe son temps de bon fonctionnement.

La **MTBF** (**M**oyenne des **T**emps de **B**on **F**onctionnement) est l'espérance mathématique de T : $E(T) = \text{MTBF}$.

III.5. Taux d'avarie (ou taux de défaillance)

Le taux d'avarie est la proportion de machines qui tombent en panne dans un intervalle de temps, par rapport à celles qui étaient en état de bon fonctionnement au début de la période. C'est à dire :

Définition 4

Taux d'avarie moyen entre les instants t et t+h est égal à :

$$\frac{\text{nombre d'éléments tombés en panne entre les instants } t \text{ et } t+h}{\text{nombre d'éléments en état de marche à l'instant } t}$$

C'est la probabilité pour qu'un dispositif en état de marche à l'instant t, tombe en panne entre les instants t et t+h. Donc

$$\frac{P(t < T < t+h)}{P(T > t)} = \frac{F(t+h) - F(t)}{R(t)} = \frac{(1 - R(t+h)) - (1 - R(t))}{R(t)} = \frac{R(t) - R(t+h)}{R(t)}$$

Définition 5

Taux d'avarie moyen par unité de temps : On divise par h :

$$\frac{R(t) - R(t+h)}{R(t)h}$$

Taux d'avarie instantané $\gamma(t)$ à l'instant t : On calcule la limite lorsque h tend vers 0

$$\text{d'où : } \lim_{h \rightarrow 0} \frac{R(t) - R(t+h)}{R(t)h} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{R(t) - R(t+h)}{h} \times \frac{1}{R(t)} = \frac{-\dot{R}(t)}{R(t)}$$

Définition 6

Le taux d'avarie instantané à l'instant t d'un matériel est la fonction λ définie par :

$$\lambda(t) = \frac{-\dot{R}(t)}{R(t)}$$

Où R est la fonction fiabilité de ce matériel.

Conséquences : Si la fonction λ est connue, la résolution de l'équation différentielle linéaire du premier ordre sur un intervalle convenable :

$$\dot{R}(t) + \lambda(t)R(t) = 0$$

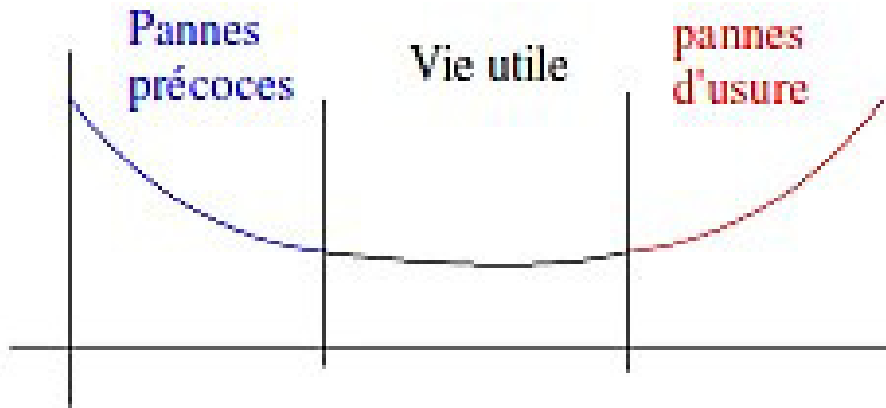
Donne la fonction de fiabilité R du matériel.

On peut alors en déduire la fonction de défaillance F, puisque $F(t) = 1 - R(t)$, qui est la fonction de répartition de la variable aléatoire T ; puis la densité de probabilité f de la variable aléatoire T : $F'(t) = f(t)$.

Remarque : Expérimentalement $\lambda(t)$ est une courbe en baignoire.

Figur

—
courbe



e 3.1

en

baignoire

III.6. MTBF : Moyenne des temps de bon fonctionnement

C'est l'espérance mathématique de la variable aléatoire T définie au départ

$$MTBF = E(t) = \int_0^{+\infty} t f(t) dt = \lim_{x \rightarrow +\infty} \int_0^x t f(t) dt$$

Elle représente l'espérance de vie du dispositif.

III.7. Principales lois de probabilité utilisées en fiabilité

A. Loi exponentielle

C'est une loi qui ne dépend que d'un seul paramètre (qui représente dans la fonction de fiabilité le temps moyen de bon fonctionnement $MTBF$, ou son inverse : le taux de défaillance λ) ; elle s'applique d'une manière générale aux matériels qui subissent des défaillances brutales, ou à des systèmes complexes composés de plusieurs éléments dont les lois de fiabilité élémentaires sont différentes [5].

Elle décrit la période pendant laquelle les temps de bon fonctionnement des matériels sont constants, c'est-à-dire la période pendant laquelle la probabilité de défaillance est la même à tout instant. La distribution exponentielle est associée aux processus de poisson que l'on définit comme un processus qui génère des événements, dont les temps d'occurrences sont indépendant, et distribués identiquement selon une loi exponentielle.

La loi exponentielle est la loi suivie par la variable aléatoire T lorsque le taux d'avarie est constant.

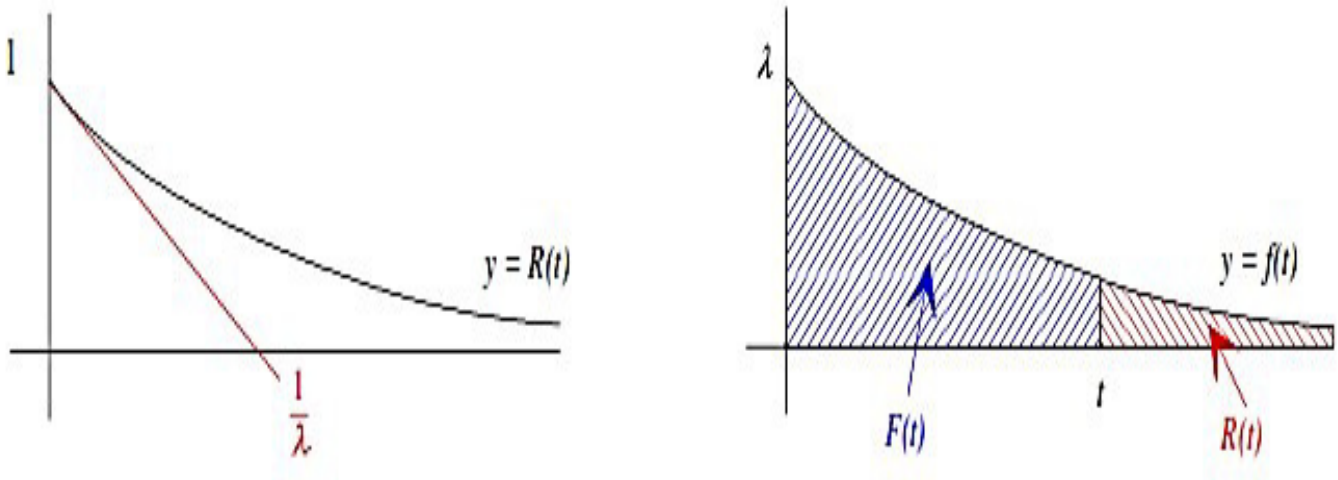
Pour tout $t \geq 0$ on a $\lambda(t) = \lambda$ constante strictement positive.

Pour tout $t \geq 0$:

Fonction de fiabilité : $R(t) = e^{-\lambda t}$

Fonction de défaillance : $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$

Densité de probabilité : $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$



MTBF : $E(t) = 1 / \lambda$ Ecart type : $\sigma = 1 / \lambda$

Figure 3.2 – loi exponentielle

L'égalité $R(t) = e^{-\lambda t}$ est équivalente à $\ln R(t) = \ln e^{-\lambda t}$; $\ln R(t) = -\lambda t$

Posons $Y = \ln R(t)$, on obtient $Y = -\lambda t$

Donc les points de coordonnées $(t ; Y)$ tracés dans le même repère orthogonal sont alignés sur une droite passant par O (0 ; 0).

On estime que T suit une loi exponentielle si, pour un grand échantillon, les points connus de coordonnées

$(t_i ; \ln R_i)$ construit dans un repère orthogonal sont approximativement alignés avec l'origine.

L'utilisation de papier semi-logarithmique pour représenter $R(t)$ permet de déduire si une loi est exponentielle ou non. S'il s'agit d'une loi exponentielle, la

$$MTBF = 1 / \lambda$$

B. Loi de Weibull (mathématicien suédois)

Weibull a choisi une loi sous forme de puissance avec 3 paramètres qui permettent d'obtenir les diverses situations : décroissante, constante et croissante.

La loi de Weibull est utilisée en fiabilités, 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) ;[6]

- 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

En fonction de la valeur de ces paramètres, elle peut s'ajuster à de nombreux résultats expérimentaux.

Définition :

On dit que la variable aléatoire T suit la loi de **Weibull** lorsque son taux d'avarie est :

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

pour $t > \gamma$: β, γ, η sont les constants avec $\beta > 0$; $\eta > 0$

γ est le paramètre de repérage qui fixe l'instant à partir duquel on étudie la fiabilité.

Si $\gamma = 0$: on étudie la fiabilité dès la première utilisation de la machine.

Si $\gamma > 0$: on étudie la fiabilité un certain temps après la première utilisation de l'appareil.

Conséquences :

On retrouve, pour tout $t > \gamma$

Fonction de fiabilité : $R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$

Fonction de défaillance : $F(t) = 1 - e^{\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right]}$

Fonction de probabilité : $f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right]}$ car $\dot{F}(t) = f(t)$

MTBF : $A\eta + \gamma$ et $\sigma = B\eta$

L'utilisation du papier imaginé par Weibull pour représenter $F(t)$ permet de déceler une loi de Weibull. Les points de coordonnées $(t_i ; F(t)_i)$ sont alignés lorsque $\gamma = 0$.

On retrouve alors graphiquement les valeurs de β et de η

C. La loi Log-normale (ou de Galton)

Une variable aléatoire continue et positive X est distribuée selon une loi log-normale si son logarithme népérien est distribué suivant une loi normale. Cette distribution est largement utilisée pour modéliser des données de vie, en particulier les défaillances par fatigue [7].

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

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\log x - m}{\sigma}\right)^2}$$

La fonction de répartition correspondante est :

$$F(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^x \frac{1}{x} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\log x - m}{\sigma}\right)^2}$$

Avec $x \geq 0$.

L'espérance mathématique est donnée par la relation :

$$E(x) = e^{m + \frac{\sigma^2}{2}}$$

Sa variance est donnée par

$$V(x) = e^{(2m + \sigma^2)} e^{(\sigma^2 - 1)}$$

La représentation graphique de la fonction densité est :

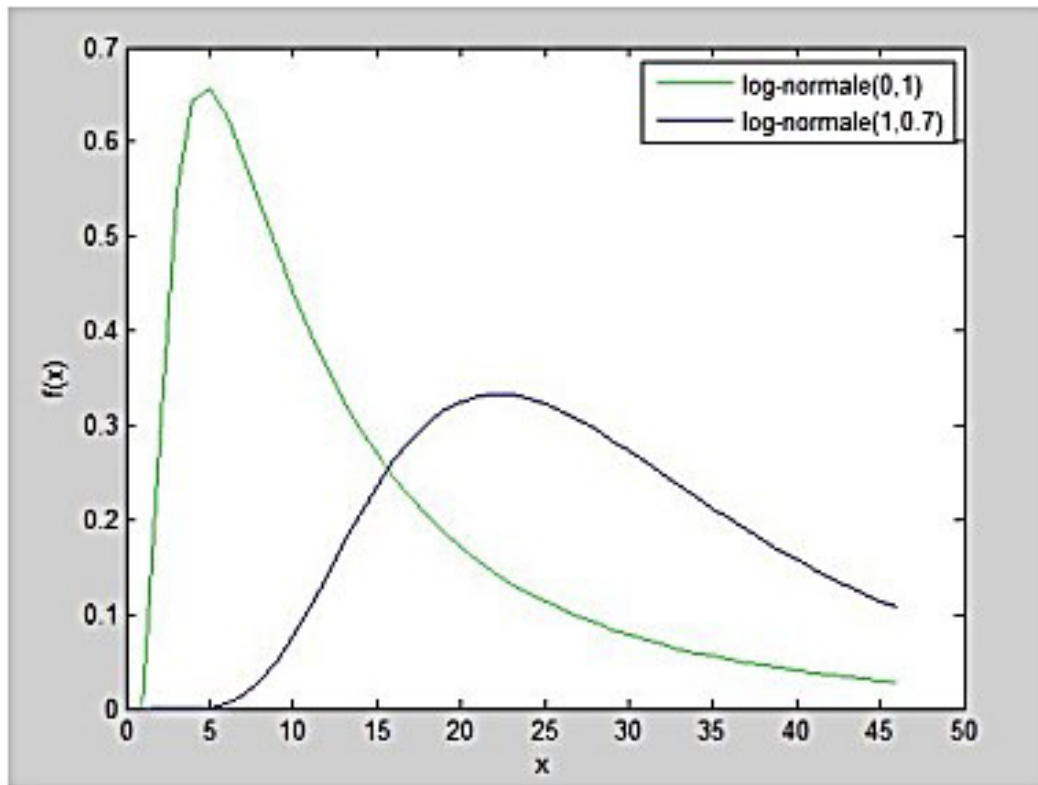


Figure 3.3 – Densité de probabilité de la loi log-normale

D. Loi de Gamma

Cette loi est souvent utilisée pour modéliser les temps de défaillance d'un matériel. La loi gamma est une loi à deux paramètres β et λ qui a une densité de probabilité de la forme suivante

$$f(x) = \frac{1}{\lambda^\beta \Gamma(\beta)} x^{\beta-1} e^{\left(\frac{-x}{\lambda}\right)}$$

Avec $x \geq 0$, $\lambda > 0$, et $\beta > 0$

$$\Gamma(\beta) = \int_0^{\infty} x^{\beta-1} e^{-x}$$

La fonction de répartition est :

$$F(x) = \int_0^{\infty} \frac{1}{\lambda^\beta \Gamma(\beta)} x^{\beta-1} e^{\left(\frac{-x}{\lambda}\right)}$$

Son espérance mathématique est :

$$E(x) = \beta\lambda$$

Et sa variance est donnée par :

$$V(x) = \beta\lambda^2$$

La représentation graphique de la fonction densité est :

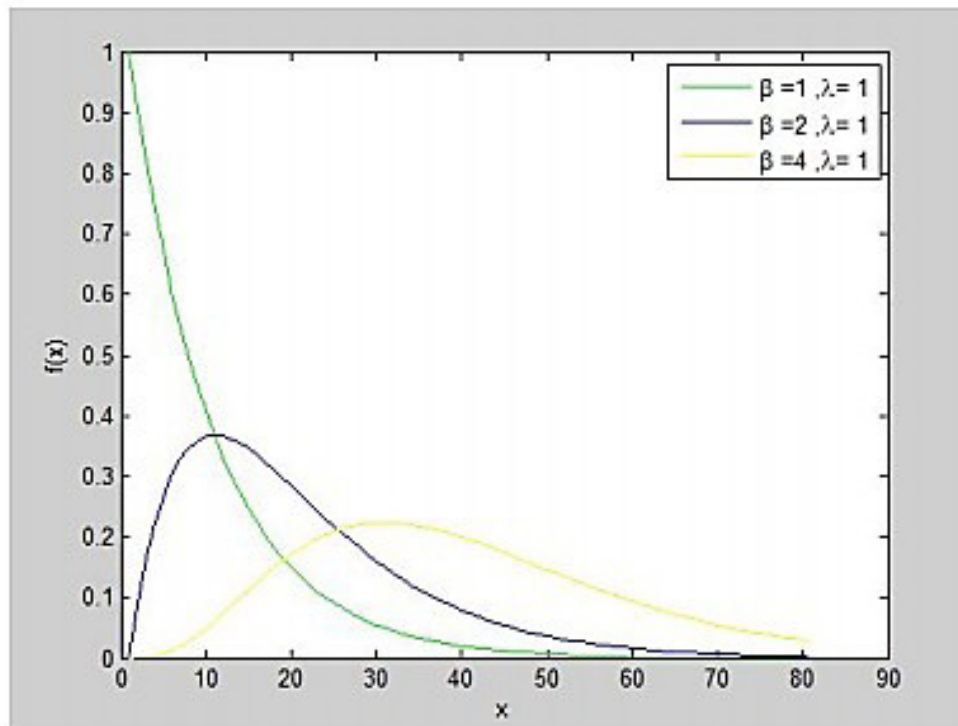


Figure 3.4 – Densité de probabilité de la loi Gamma

III.8. Choix de la politique de maintenance

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

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

Vu que la maintenance exige une combinaison rationnelle des moyens et qu'elle est permanente, elle nécessite une politique préalablement établie donc il faut choisir pour chaque machine ou groupe de machines un type de maintenance approprié. On peut utiliser des critères de choix simple.

III.9. Analyse de Pareto (m' méthode ABC)

L'analyse de Pareto consiste à déterminer la minorité de causes responsables de la majorité des effets. La démarche de la méthode se décline en 4 étapes principales :

1) définir la nature des éléments à classer Ces 'éléments à classer d' dépendent du caractère étudié. Ces éléments peuvent être : des matériels, des causes de panes, des natures de pannes, des bons de travail, des articles en stocks etc.

2) Choisir le critère de classement Les critères les plus fréquents sont les coups et les temps, selon le caractère étudiée, d'autres critères peuvent être retenue tels que : – le nombre d'accidents, le nombre d'incidents ;

– le nombre de rebuts, le nombre d'heures d'utilisation ;

– le nombre de kilomètres parcourus ;

– la valeur consommée annuellement.

3) Tracé la courbe pourcentage des valeurs cumulées du critère en fonction du pourcentage des éléments cumules qui en sont responsables (voir la figure 3.6).

4) Détermination des seuils des classes A, B et C des éléments.

La classe A est celle de la minorité d'éléments (en général 20 %) responsable de la majorité des effets (en général 80%).

La classe C est celle de la majorité d'éléments (en général 50%) responsable de la minorité des effets (en général 20%).

La classe B est intermédiaire. Elle est composée généralement des 30% d'éléments responsable de 15 % d'effets. On illustre cette courbe à l'aide du tableau 3.1 :

Table 3.1 – Méthode ABC

Équipement	Classement par ordre décroissant de critère	% de critère	% critère % cumules	Nombre de pannes	% des de pannes	Cumul de %

A partir du tableau (3.1) on peut construire le diagramme de Pareto (voir la figure 3.6) qui est présenté généralement comme suit :

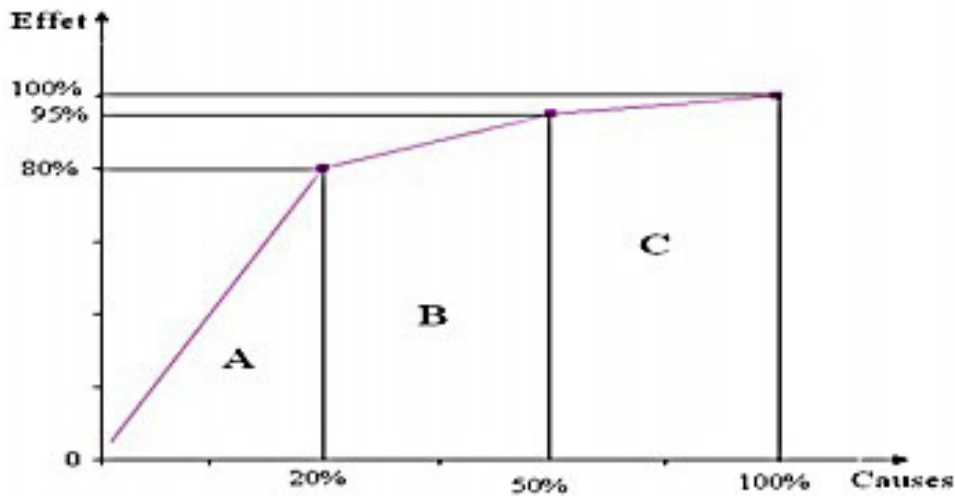


Figure 3.5 – Diagramme de Pareto

L'outil Pareto est utilisé dans de nombreux travaux concernant cette méthodologie, est appelée aussi pour les raisons précitées : méthode des 20/80 ou encore méthode ABC, nous permet de classer les causes selon les effets qu'elles génèrent et de déduire les priorités d'actions à mener :

- Déterminer les éléments qui pénalisent le plus la disponibilité des équipements et leurs fréquences ;
- Définir les actions de maintenance correctives à entreprendre dans l'ordre d'urgences et d'importance ;
- Optimiser les moyens techniques et humains ;
- Automatiser les opérations principales de gestion des stocks ;
- Orienter le choix des actions d'amélioration. Exemples des causes et leurs effets qu'on peut étudier à l'aide de cette méthode (voir la tableau 3.2 :

Table 3.2 – La minorité des Causes responsables de la majorité des effets

Causes	Articles en stock
Equipements	Coût de maintenance
Défaillances	Coût d'indisponibilité
Articles en stock	Valeur de consommation

III.10. Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté les principales lois dans le domaine de la fiabilité, ainsi que les méthodes d'estimation des grandeurs utilisées et l'analyse de Pareto pour déterminer la minorité de causes responsables de la majorité des effets et pouvoir implanter un système de maintenance efficace et rentable.

Chapitre 4

Traitement des données et outils d'analyse

IV. Traitement des données et outils d'analyse

IV.1. Introduction

Les données constituent une source extrêmement précieuse d'information sur la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité. Mais on ne pourra pas compter sur les données disponibles que dans la mesure où l'on aura étudié et soigneusement réalisé la collecte des informations à la source.

L'analyse de fiabilité en exploitation consiste à recueillir des données de défaillance et à les exploiter de manière statistique afin de connaître les indices de fiabilité. La présente étude est basée sur les données qui s'étalent de 02/01/2013 au 30/11/2019. La source essentielle de ces données est les "bons de travail" qui donnent un résumé sur les défaillances (date et heure d'arrêt, heure début et fin de réparations, le temps d'intervention...).

IV.2. Les équipements de l'entreprise

L'entreprise comprend nombreuse machine fonctionnelle, leur étude sera très longue. Avec l'aide du personnel de l'entreprise, notre étude va porter sur 26 machines, qui présente une des préoccupations majeures des responsables, à cause de son importance en termes de la nécessité de produits fabriqués et des temps d'immobilisation important.

L'inventaire des équipements à étudier est présenté dans le tableau suivant :

Table 4.1 – Inventaire

N	Désignation	N	Désignation	N	Désignation
1	REFENDA GE	12	ACCUMULATEUR EBAUCHE	23	LISSEUR
2	SOUDEUSE	13	DRESSEUSE A 5 ROULEAUX	24	DEROULEUR
3	LAMLNOIRE	14	CALIBREUR ROTATIF	25	FACONNEUSE
4	DRESSEUSE L2	15	GENERATEUR HF	26	GALV/DEC
5	PRESSE A FILER	16	SOUDEUSE HF		
6	DRESSEUSE TUBE FINIS	17	CHANFRIENEUSE A		
7	STATION HYDRAULIQUE	18	PRESSE A SOUDEE		
8	TRONCONNEUSE	19	LAMINOIRE FINISSEUR A CREUX		
9	SCIE CIRCULAIRE	20	MACHINE POUR DECOUPAGE DE BOBINES		
10	STATION AIR C	21	PRESSE BAVURE MOTORISER		
11	TOUR A FILETER	22	CAGES FINISSEURE DES REDUCTION		

IV.3. Choix des équipements à étudier

Vu le nombre important des machines qui composent l'entreprise, l'étude statistique de chacune d'elles se révélera très longue. Il convient alors de cibler seulement les équipements critiques. Pour orienter mon étude, j'est basé sur le critère " temps d'immobilisation ".

A cet effet, j'ai effectué une analyse ABC (Pareto) pour déterminer la classe d'équipements qui pendant une année (01/04/2018 au 30/04/2019), a engendré le temps d'immobilisation le plus élevé. Les résultats de l'analyse ABC sont reportés sur le tableau 4.2 et la figure 4.1 :

Table 4.2 – Résultat de l'analyse ABC (Pareto)

Désignation	Temps d'arrêt(h)	Cumul des temps d'arrêt	% du temps cumules	Nbr de panne	Cumul des pannes	% du Cumul des pannes
ACCUMULATEUR EBAUCHE	71.00	71.00	15.98	32	32	8.53
DRESSEUSE A 5 ROULEAUX	60.92	131.92	29.69	36	68	18.13
SOUDEUSE HF	55.08	187.00	42.08	26	94	25.07
CHANFRIENEUSE A	54.83	241.83	54.42	25	119	31.73
LAMINOIRE FINISSEUR A CREUX	39.00	280.83	63.20	22	141	37.60
PRESSE A SOUDEE	25.75	306.58	69.00	28	169	45.07
REFENDAGE	21.25	327.83	73.78	33	202	53.87
SOUDEUSE	19.42	347.25	78.15	32	234	62.40
LAMLNOIRE	16.42	363.67	81.84	25	259	69.07
DRESSEUSE L2	12.08	375.75	84.56	18	277	73.87
PRESSE A FILER	11.17	386.92	87.08	18	295	78.67
DRESSEUSE TUBE FINIS	9.50	396.42	89.22	14	309	82.40
STATION HYDRAULIQUE	8.67	405.09	91.17	11	320	85.33
TRONCONNEUSE	6.50	411.59	92.63	10	330	88.00
SCIE CIRCULAIRE	5.33	416.92	93.83	8	338	90.13

STATION AIR C	4.83	421.75	94.92	7	345	92.00
TOUR A FILETER	4.08	425.83	95.83	6	351	93.60
CALIBREUR ROTATIF	3.42	429.25	96.60	5	356	94.93
GENERATEUR HF	3.25	432.50	97.34	5	361	96.27
MACHINE POUR DECOUPAGE DE BOBINES	2.67	435.17	97.94	3	364	97.07
PRESSE BAVURE MOTORISER	2.58	435.75	98.52	3	367	97.87
CAGES FINISSEURE DES REDUCTION	1.92	439.75	98.95	2	369	98.40
LISSEUR	1.75	441.42	99.34	3	372	99.20
DEROULEUR	1.17	442.59	99.61	1	373	99.47
FACONNEUSE	0.92	443.51	99.81	1	374	99.73
GALV/DEC	0.83	444.35	100	1	375	100

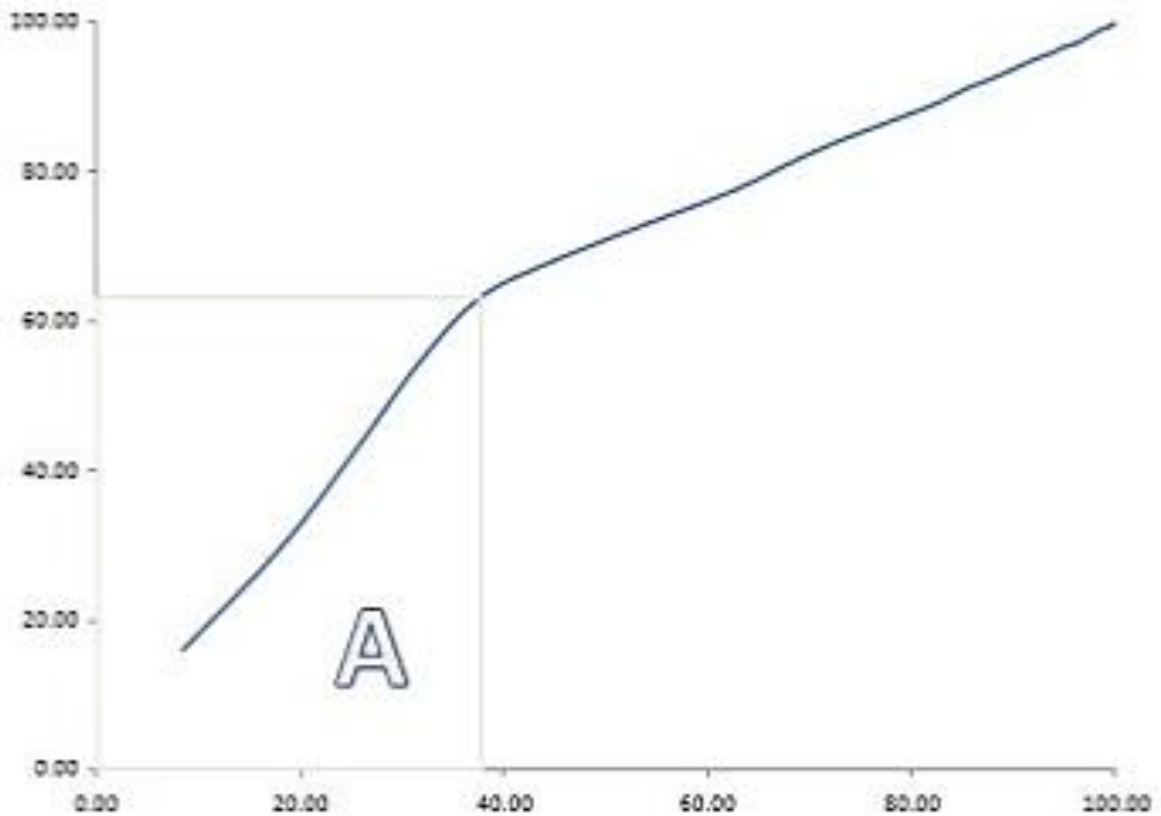


Figure 4.1 – Diagramme ABC

A partir des résultats du tableau (4.2) et la figure (4.2) je propose que la zone "A" et celle qui correspond aux équipements qui, avec un pourcentage 37.60 % des pannes, causent 63.20 % des temps d'immobilisation cumulés. Autrement dit, presque deux tiers du temps d'immobilisation est engendré par un cinquième des équipements. Ces équipements doivent donc faire l'objet d'un traitement particulier. Ces équipements sont :

Table 4.3 – Les équipements de la zone "A" de la courbe de Pareto

N	Désignation
16	SOUDEUSE HF
17	CHANFRIENEUSE A
12	ACCUMULATEUR EBAUCHE
13	DRESSEUSE A 5 ROULEAUX
19	LAMINOIRE FINISSEUR A CREUX

IV.4. Analyse de la fiabilité des équipements

A. Modélisation paramétrique de la fiabilité des équipements

Il est naturel de chercher à ajuster un échantillon aléatoire par des distributions théoriques, vu les significations et les interprétations apportées par ces distributions

Pour mon étude, cette démarche commence par une hypothèse que la variable aléatoire X durée de vie obéit à un modèle d'usage courant, celui de Weibull, qui permet de prendre compte des différentes formes de la fonction taux de défaillance ; ou une distribution exponentielle qui est utilisée à chaque fois qu'il s'agit de modéliser une durée de vie associée à un processus de défaillance sans mémoire, c'est-à-dire, un processus dans lequel le nombre de défaillance sur un intervalle du temps est indépendant du choix de l'intervalle.

L'estimation des paramètres de chaque modèle a été réalisée par la méthode de maximum de vraisemblance à l'aide du logiciel de statistique R. R est à la fois un logiciel et un langage qui permet d'appliquer les techniques d'ajustement avec les lois paramétriques. Il permet de valider les modèles obtenus grâce aux tests classiques d'adéquation comme le test de "Kolmogorov-Smirnov". Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 4.6 Il convient de noter que la variable à ajuster est le temps de bon fonctionnement (TBF) et que les données prises sont complètes (non censurées) car on dispose d'un nombre suffisant de données

Table 4.4 – Résultats de la modélisation paramétrique de la fonction de fiabilité

N	Désignation	n	Loi ajustée	Paramètres	Dc	$D_{(n,0.05)}$
16	SOUDEUSE HF	120	Weibull	$\beta=1.505, \eta=9304$	0.052	0.1241
			Exponentielle	$\lambda=0.00012$	0.140	
17	CHANFRIENEUSE A	134	Weibull	$\beta=1.875, \eta=8461$	0.0566	0.1174
			Exponentielle	$\lambda=0.000134$	0.2135	
12	ACCUMULATEUR EBAUCHE	137	Weibull	$\beta=1.796, \eta=8323$	0.0634	0.1161
			Exponentielle	$\lambda=0.000136$	0.1802	
13	DRESSEUSE A 5 ROULEAUX	148	Weibull	$\beta=1.716, \eta=7615$	0.063	0.1117
			Exponentielle	$\lambda=0.000147$	0.2057	
19	LAMINOIRE FINISSEUR A CREUX	140	Weibull	$\beta=1.850, \eta=8134$	0.0541	0.1149
			Exponentielle	$\lambda=0.000139$	0.3297	

Où

n : Taille de l'échantillon.

β : Paramètre de forme de la loi de Weibull.

η : Paramètre d'échelle de la loi de Weibull.

Dc : Statistique empirique du test de Kolmogorov-Smirnov.

$D(n,0.05)$: Statistique tabulé de test Kolmogorov-Smirnov avec un seuil de signification égal à 0.05 Les résultats obtenus montrent que le modèle de Weibull a deux paramètres est accepté pour un niveau de signification $\alpha=0.05$ pour les équipements (SOUDEUSE HF CHANFRIENEUSE A ACCUMULATEUR EBAUCHE DRESSEUSE A 5 ROULEAUX LAMINOIRE FINISSEUR A CREUX) et le modèle exponentiel est rejeté pour un niveau de signification $\alpha=0.05$

B. Indices de fiabilité

On peut comparer la fiabilité des équipements en comparant les moyennes du temps de fonctionnement (MUT). On dira qu'un système est plus fiable qu'un autre si son MUT est plus grand. Le tableau suivant présente, le classement décroissant des équipements par leur MUT.

Table 4.5 – Résultats de calcul de la MUT des équipements

N	Désignation	Paramètre du Weibull	MUT_{ω} (mn)
16	SOUDEUSE HF	$\beta=1.505, \eta=9304$	8382.90
17	CHANFRIENEUSE A	$\beta=1.870, \eta=8461$	7504.9
12	ACCUMULATEUR EBAUCHE	$\beta=1.796, \eta=8323$	7390.82
19	LAMINOIRE FINISSEUR A CREUX	$\beta=1.850, \eta=8134$	7222.99
13	DRESSEUSE A 5 ROULEAUX	$\beta=1.716, \eta=7615$	4437.64

Les courbes de fiabilité et le taux de défaillance sont représentés dans les graphiques (voir les figures 4.2 et 4.3).

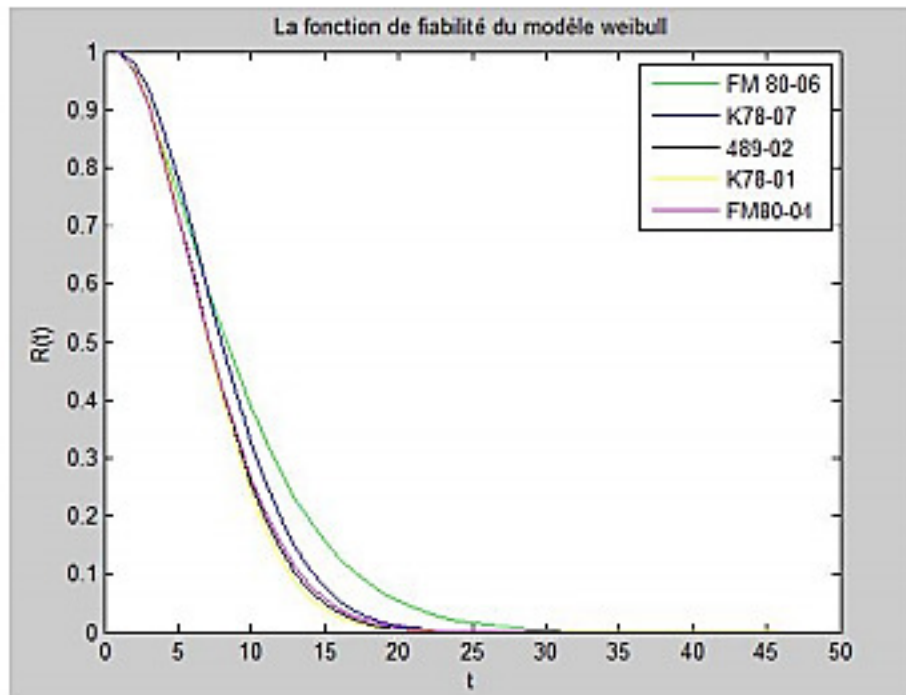


Figure 4.2 – Les fonctions de fiabilité des équipements

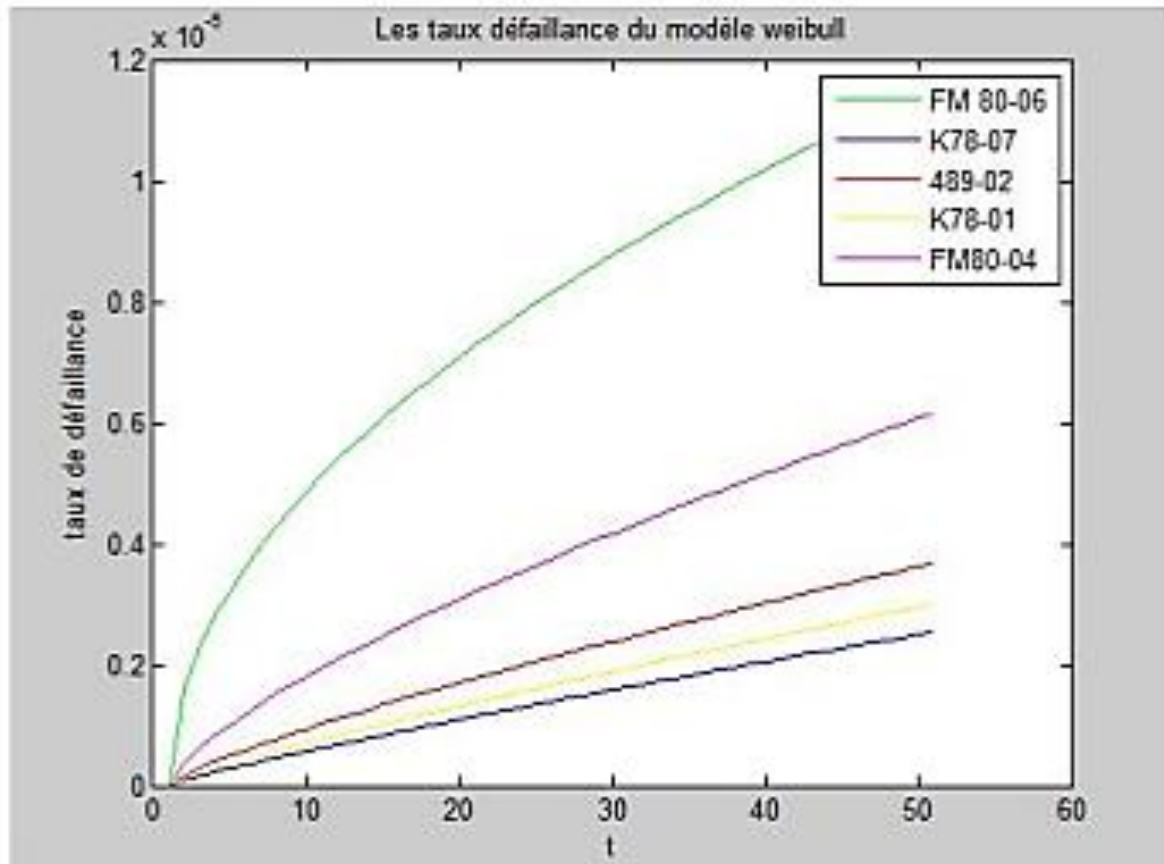


Figure 4.3 – Taux de défaillance des équipements

C. Modélisation de la maintenabilité

On présente, dans ce paragraphe, la modélisation des temps de réparation. J'ai choisi comme loi d'ajustement celle de log-normale et Gamma. Elles sont généralement représentatives de la durée de réparation.

Les résultats sont reportés dans le tableau 4.8 par un classement décroissant du MTTR par rapport à la loi Gamma :

Table 4.6 – Résultats de la modélisation des temps de réparation

N	Désignation	n	Loi ajustée	Paramètres	Dks	$d_{(n,0.05)}$	MTTR
19	LAMINOIRE FINISSEUR A CREUX	138	Log-normale	$m= 4.0894, \sigma= 0.49$	0.0729	0.1157	67.55
			Gamma	$\alpha=0.91, \beta=75.74$	0.107		68.92
16	SOUDEUSE HF	141	Log-normale	$m=3.792, \sigma= 0.483$	0.08	0.1145	49.83
			Gamma	$\alpha=0.87, \beta=58.28$	0.0936		50.70
17	CHANFRIENEUSE A	121	Log-normale	$m=3.730, \sigma=0.416$	0.076	0.123	45.33
			Gamma	$\alpha=0.59, \beta=76.9$	0.103		45.37
12	ACCUMULATEUR EBAUCHE	149	Log-normale	$m= 3.693, \sigma= 0.439$	0.0935	0.1114	44.22
			Gamma	$\alpha=0.63, \beta=71.43$	0.097		45
13	DRESSEUSE A 5 ROULEAUX	135	Log-normale	$m= 3.673, \sigma= 0.419$	0.0911	0.1170	44.82
			Gamma	$\alpha=0.66, \beta=67.9$	0.094		43

Ce tableau montre que les équipements : SOUDEUSE HF, CHANFRIENEUSE A, LAMINOIRE FINISSEUR A CREUX, ont un temps de réparation important par rapport aux autres équipements.

D. Disponibilité des équipements

Le calcul de la disponibilité opérationnelle fait intervenir :

- La fiabilité par MTBF
- La maintenabilité par MTTR
- Les temps annexes de réparation

Rappelons que la disponibilité opérationnelle est donnée par :

$$D_{op} = \frac{MUT}{MUT + MDT} = \frac{MUT}{MTBF}$$

Avec

MDT : le temps moyen d'immobilisation (Mean Down Time), qui comprend le temps moyen de réparation ainsi que le temps annexe de réparation.

MUT : le temps moyen de bon fonctionnement (Mean Up Time).

Lorsque ces temps annexe sont négligeables devant les temps de réparation, on aura :

$$MDT \cong MTTR$$

La disponibilité sera alors :

$$D_{op} = \frac{MUT}{MUT + MTTR}$$

Grâce à cette formule d'approximation, on peut illustrer la fragilité du système de gestion de la maintenance au niveau de cette entreprise.

Notons :

– D_{opr} : Disponibilité opérationnelle réelle, qui va être calculée à partir de l'équation

$$D_{opr} = \frac{MUT}{MUT + MDT} = \frac{MUT}{MTBF} ;$$

– D_{ops} : Disponibilité opérationnelle en négligeant les temps d'annexes de réparation (Disponibilité opérationnelle souhaitée), qui va être calculée par l'équation

$$D_{ops} = \frac{MUT}{MUT + MTTR}$$

Evaluation de la disponibilité

Dans le but de mettre en évidence l'impact que peuvent avoir les temps annexes de réparation sur l'indisponibilité des équipements, on a adopté les étapes suivantes :

– On calcule, dans un premier temps, la disponibilité réelle D_{opr} et celle souhaitée D_{ops}

– On calcule, dans un deuxième temps, l'indisponibilité $(D_{ops} - D_{opr})$ entraînée par les temps d'attente de réparation ; $\frac{(D_{ops} - D_{opr})}{1 - D_{opr}}$

– Ensuite on évalue le taux d'indisponibilité cause par les temps annexes de réparation

Table 4.7 – Résultats de la modélisation des temps de disponibilité

N	Désignation	MUT (mn)	MTTR (mn)	MDT (mn)	D_{opr}	D_{ops}	$(D_{ops} - D_{opr})$	$\frac{(D_{ops} - D_{opr})}{1 - D_{opr}}$
17	CHANFRIENEUSE A	8382.9	45.37	70.18	0.991	0.994	0.003	0.33
13	DRESSEUSE A 5 ROULEAUX	7504.9	44.82	106.46	0.986	0.994	0.008	0.57
19	LAMINOIRE FINISSEUR A CREUX	7390.82	68.92	93.33	0.987	0.990	0.004	0.30
12	ACCUMULATEUR EBAUCHE	4437.64	45	81.03	0.982	0.989	0.007	0.38
16	SOUDEUSE HF	7222.99	50.70	96.15	0.986	0.993	0.007	0.5

Le tableau 4.9 montre l'influence des temps annexes de réparation sur la disponibilité des équipements. On remarque que la disponibilité réelle est faible devant la disponibilité souhaitée.

L'indisponibilité liée au temps annexe de réparation représente moins de la moitié des temps d'immobilisation à part pour les équipements SOUDEUSE HF et DRESSEUSE A 5 ROULEAUX. Ainsi, pour l'équipement DRESSEUSE A 5 ROULEAUX le taux d'indisponibilité dû au temps d'annexes de réparation est de 0.8 % (environ 2H par mois). Soit un taux de 57 % des temps d'immobilisation.

Pour l'équipement SOUDEUSE HF le taux d'indisponibilité dû au temps d'annexes de réparation est de 0.7 % (environ 1.5H par mois). Soit un taux de 50% des temps d'immobilisation. On conclut que les temps d'attente de réparation représentent en moyenne 3 % de la capacité programmée des équipements. Ils font perdre, en effet, à l'entreprise plus de 3% de son chiffre d'affaire. Une analyse de la situation est donc indispensable, en particulier pour les équipements SOUDEUSE HF et DRESSEUSE A 5 ROULEAUX, afin de réduire ces temps d'immobilisation. Il convient aussi de réviser la politique de gestion des stocks et de mettre en place les moyens adéquats pour une meilleure prise en charge des réparations.

IV.5. Conclusion

Ce chapitre a permis d'analyser la fiabilité et la disponibilité des équipements. Dans la première étape, on a identifié les équipements dont les pannes sont les responsables de l'immobilisation de la chaîne de production, qui sont au nombre de 5, et qui entraînent plus de la moitié des temps d'immobilisation. Dans la seconde étape, on a fait une analyse de la fiabilité des équipements qui sont en majorité sujets à des pannes aléatoires et nous avons évalué la disponibilité des différents équipements. Leurs valeurs sont proches de 1, ce qui signifie que les équipements de la chaîne de production sont prêts à fonctionner à tout moment.

Conclusion générale

L'objectif de cette étude est l'analyse de la disponibilité des équipements de l'entreprise **Anabib**, en se basant sur le calcul de fiabilités et de maintenabilité de ces derniers. Ce mémoire est partagé en deux parties, une partie théorique et une partie pratique. Dans la première partie théorique j'ai présenté les différents concepts de la théorie de la fiabilité et de la maintenance. Pour modéliser les concepts de la fiabilité, j'ai présenté les éléments statistiques utilisés dans ce domaine. La deuxième partie de ce mémoire donne un certain nombre de réponses à la problématique posée. Ainsi, dans une première étape, à l'aide de l'analyse de Pareto, j'ai pu d'engager les équipements sensibles de l'entreprise. Ces équipements sont à l'origine de deux tiers des temps d'immobilisation. J'ai ensuite modélisé la fiabilité des équipements, et ce, en faisant appel aux approches paramétriques. Ensuite j'ai calculé la disponibilité, ainsi que l'indisponibilité due au temps d'attente de réparation pour chaque équipement.

L'étude a permis de mettre en évidence les types de défaillances de ces équipements. J'ai constaté que la majorité des équipements sont sujets à des défaillances aléatoires et que le taux d'indisponibilité lié au temps annexe de réparation pour l'équipement DRESSEUSE A 5 ROULEAUX présente plus de la moitié de l'indisponibilité opérationnelle de l'équipement et pour l'équipement SOUDEUSE HF présente la moitié de l'indisponibilité opérationnelle. Ceci nécessite donc une analyse rigoureuse des défaillances de chacun de ces deux équipements et l'analyse des causes de ces pannes.

Cette étude m'a permis de clarifier la relation existante entre la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité. Pour avoir une grande disponibilité des installations stratégiques, il faut soit augmenter la fiabilité ou diminuer les temps de réparations des équipements selon l'importance du système étudié et les coûts engendrés par l'augmentation de la fiabilité ou la diminution des temps de réparations, ou encore les deux en même temps.

Les notions de fiabilités et l'économie sont fortement liées. Plus on veut réduire les risques de mauvais fonctionnement du système, plus on augmente sa fiabilité. Cette augmentation engendre l'augmentation des coûts totaux.

Pour que les résultats obtenus puissent être exploités, je propose d'améliorer ce travail par l'optimisation des temps de renouvellement des composants, de sorte à minimiser les coûts des pannes ou maximiser la disponibilité des équipements, qui présente un temps d'indisponibilité opérationnelle important.

Bibliographie

Bibliographie :

[1] AFNOR – Fascicule de Documentation FD X60-000 - Maintenance industrielle. Fonction Maintenance (2002).

[2] F. Monchy. La fonction maintenance : formation à la gestion de la maintenance industrielle, collection technologies de l'université à l'industrie. Masson, 1991.

[3] Robrt95. Dictionnaire de la langue française. Nouveau Petit Robert, mars 1995.

[4] A. Benouareth. Contribution à l'étude de la fiabilité des postes de distribution électrique (application des processus semi-markoviens). Thèse de Magister, Université M'Hamed Bougera de Boumerdes, 2005.

[5] V. Zille. Modélisation et évaluation des stratégies de maintenance complexes sur des systèmes multi-composants. Thèse de Doctorat, Université de Technologie de Troyes, 2009.

[6] P. Lyonnet. La maintenance mathématique et méthodes. Edition Lavoisier, paris, 1992

[7] O. Tebbi. Estimation des lois de fiabilités en mécanique par les essais accélères. Thèse Doctorat, Ecole Doctorale D'Angers, 2005.

Annexe

ANNEXE :

β	A	B	β	A	B	β	A	B	β	A	B
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	0,92358	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

Figure 4.4 Table de la loi de Weibull

ANNEXE :

	$\Gamma(x+1)$									
	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	1,000 000	0,994 326	0,988 844	0,983 550	0,978 438	0,973 504	0,968 744	0,964 152	0,959 725	0,955 459
0,1	0,951 351	0,947 396	0,943 590	0,939 931	0,936 416	0,933 041	0,929 803	0,926 700	0,923 728	0,920 885
0,2	0,918 169	0,915 576	0,913 106	0,910 755	0,908 521	0,906 402	0,904 397	0,902 503	0,900 718	0,899 042
0,3	0,897 471	0,896 004	0,894 640	0,893 378	0,892 216	0,891 151	0,890 185	0,889 314	0,888 537	0,887 854
0,4	0,887 264	0,886 765	0,886 356	0,886 036	0,885 805	0,885 661	0,885 604	0,885 633	0,885 747	0,885 945
0,5	0,886 227	0,886 592	0,887 039	0,887 568	0,888 178	0,888 868	0,889 639	0,890 490	0,891 420	0,892 428
0,6	0,893 515	0,894 681	0,895 924	0,897 244	0,898 642	0,900 117	0,901 668	0,903 296	0,905 001	0,906 782
0,7	0,908 639	0,910 572	0,912 581	0,914 665	0,916 826	0,919 063	0,921 375	0,923 763	0,926 227	0,928 767
0,8	0,931 384	0,934 076	0,936 845	0,939 690	0,942 612	0,945 611	0,948 687	0,951 840	0,955 071	0,958 379
0,9	0,961 766	0,965 231	0,968 774	0,972 397	0,976 099	0,979 881	0,983 743	0,987 685	0,991 708	0,995 813
1,0	1,000 000	1,004 269	1,008 621	1,013 056	1,017 576	1,022 179	1,026 868	1,031 643	1,036 503	1,041 451
1,1	1,046 486	1,051 609	1,056 821	1,062 123	1,067 514	1,072 997	1,078 572	1,084 239	1,089 999	1,095 853
1,2	1,101 802	1,107 848	1,113 989	1,120 228	1,126 566	1,133 003	1,139 540	1,146 179	1,152 920	1,159 764
1,3	1,166 712	1,173 765	1,180 925	1,188 193	1,195 569	1,203 054	1,210 651	1,218 360	1,226 181	1,234 117
1,4	1,242 169	1,250 338	1,258 625	1,267 032	1,275 559	1,284 209	1,292 982	1,301 881	1,310 906	1,320 058
1,5	1,329 340	1,338 753	1,348 299	1,357 978	1,367 794	1,377 746	1,387 837	1,398 069	1,408 443	1,418 961
1,6	1,429 625	1,440 436	1,451 396	1,462 508	1,473 773	1,485 193	1,496 769	1,508 505	1,520 402	1,532 461
1,7	1,544 686	1,557 078	1,569 639	1,582 371	1,595 277	1,608 359	1,621 620	1,635 061	1,648 685	1,662 494
1,8	1,676 491	1,690 678	1,705 058	1,719 633	1,734 407	1,749 381	1,764 558	1,779 941	1,795 533	1,811 337
1,9	1,827 355	1,843 591	1,860 047	1,876 726	1,893 632	1,910 767	1,928 135	1,945 739	1,963 583	1,981 668
2,0	2,000 000	2,018 581	2,037 415	2,056 505	2,075 854	2,095 468	2,115 349	2,135 500	2,155 927	2,176 632
2,1	2,197 620	2,218 895	2,240 461	2,262 321	2,284 481	2,306 944	2,329 715	2,352 798	2,376 197	2,399 918
2,2	2,423 965	2,448 343	2,473 056	2,498 109	2,523 508	2,549 257	2,575 361	2,601 826	2,628 657	2,655 859
2,3	2,683 437	2,711 398	2,739 747	2,768 489	2,797 631	2,827 178	2,857 136	2,887 512	2,918 311	2,949 541
2,4	2,981 206	3,013 315	3,045 873	3,078 887	3,112 365	3,146 312	3,180 737	3,215 645	3,251 046	3,286 945
2,5	3,323 351	3,360 271	3,397 713	3,435 686	3,474 196	3,513 252	3,552 863	3,593 037	3,633 783	3,675 109
2,6	3,717 024	3,759 537	3,802 658	3,846 396	3,890 761	3,935 761	3,981 407	4,027 709	4,074 677	4,122 321
2,7	4,170 652	4,219 680	4,269 417	4,319 873	4,371 060	4,422 988	4,475 671	4,529 118	4,583 343	4,638 358
2,8	4,694 174	4,750 805	4,808 264	4,866 563	4,925 715	4,985 735	5,046 636	5,108 431	5,171 136	5,234 764
2,9	5,299 330	5,364 849	5,431 336	5,498 807	5,567 278	5,636 763	5,707 281	5,778 846	5,851 476	5,925 188
3,0	6,000 000	6,075 929	6,152 992	6,231 209	6,310 598	6,391 177	6,472 967	6,555 986	6,640 255	6,725 794
3,1	6,812 623	6,900 763	6,990 237	7,081 065	7,173 269	7,266 873	7,361 898	7,458 369	7,556 308	7,655 740
3,2	7,756 690	7,859 181	7,963 241	8,068 894	8,176 166	8,285 085	8,395 678	8,507 971	8,621 994	8,737 775
3,3	8,855 343	8,974 728	9,095 960	9,219 069	9,344 087	9,471 046	9,599 978	9,730 916	9,863 893	9,998 943

Figure 4.5 – Table de loi Gamma

ANNEXE :

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	$\frac{1,07}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,14}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,22}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,36}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,63}{\sqrt{N}}$

Figure 4.6 – Table de loi Kolmogorov-Smirnov