

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT DE GÉNIE ÉLECTRIQUE
N° : 05



DOMAINE: SCIENCE ET TECHNOLOGIE
FILIERE : ÉLECTROMÉCANIQUE
OPTION: MAINTENANCE DES
ÉQUIPEMENT INDUSTRIELS

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par: BELIL FARID

BELIEL YUCEF

Intitulé

**OPTIMISATION DES PARAMÈTRES DE LA
SÛRETÉ DE FONCTIONNEMENT D'UN
SYSTÈME ÉLECTROMÉCANIQUE**

Soutenu devant le jury composé de:

Nom et prénom Enseignant	Université	Président
GHEMARI Zine	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Rapporteur
.....	Université.. ..	Examineur

Année universitaire : 2020/2021

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وَمَا تَوْفِيقِي إِلَّا بِاللَّهِ

Dédicaces

Je dédie ce travail :

- + A mon cher père et ma chère mère.*
- + A mes chers frères et sœurs.*
- + A toute ma famille.*
- + A tous ceux qui ont sacrifié leur temps pour la science et à tous ceux qui utilisent la science pour le bien et la prospérité de l'humanité.*

BELIL Farid

Dédicaces

Je dédie ce travail :

- + A mon cher père et ma chère mère.*
- + A mes chers frères et sœurs.*
- + A toute ma famille.*
- + A tous ceux qui ont sacrifié leur temps pour la science et à tous ceux qui utilisent la science pour le bien et la prospérité de l'humanité.*

BELIEL Youcef

Remerciements

**Nous voulons exprimer par ces quelques lignes de remerciements,
notre gratitude envers tous ceux en qui par leur présence, leur soutien,
leur disponibilité**

et leurs conseils, nous avons eu courage d'accomplir ce mémoire.

**Nous commençons par remercier Monsieur GHEMARI Zine qui nous a
fait l'honneur d'être notre encadreur.**

**Nous le remercions profondément pour son encouragement continue et
aussi d'être toujours là pour nous écouter, nous aider et nous guider à
retrouver**

Le bon chemin par sa sagesse et ses précieux conseils,

**Ainsi que son soutien moral et sa preuve de compréhension, ce qui nous
a donné**

la force et le courage d'accomplir ce projet.

**Nous tenons à remercier également toute l'équipe de la faculté de la
technologie,**

et plus particulièrement, le département d'électrique.

**Nous tenons d'autre part à remercier les respectables membres du jury
pour bien vouloir nous accorder de leur temps précieux pour
commenter,**

discuter et juger notre travail.

**En fin, nous ne pouvons achever ce mémoire sans exprimer notre
gratitude à tous les professeurs de département d'électrique, pour leur
dévouement et leur assistance tout au long de nos études universitaires**

Table des Matières

Table des Matières.....	i
Liste des figures.....	vi
Liste des tableaux.....	v
Glossaire.....	iv
Introduction générale.....	2

Chapitre I Notions de base sur la maintenance

I.1 introduction.....	5
I.2 la maintenance	5
I.2.1 La maintenance comme politique.....	6
I.2.2 Le rôle de la maintenance	6
I.3 Les types de maintenance	6
I.3.1 La maintenance corrective.....	6
I.3.2 La maintenance préventive.....	7
I.3.2.1 La maintenance préventive systématique.....	7
I.3.2.2 La maintenance préventive conditionnelle.....	7
I.4 Les opérations de la maintenance	8
I.4.1 Les opérations de maintenance corrective.....	8
I.4.2 Les opérations de maintenance préventive.....	8
I.5 Les niveaux de maintenance.....	8
I.5.1 1 ^{er} niveaux de maintenance	8
I.5.2 2 ^{ème} niveaux de maintenance.....	9
I.5.3 3 ^{ème} niveaux de maintenance.....	9
I.5.4 4 ^{ème} niveaux de maintenance.....	9
I.5.5 5 ^{ème} niveaux de maintenance.....	9
I.6 L'intérêt de maintenance	10
I.7 L'environnement de la maintenance.....	11
I.8 La mise en place de la maintenance.....	11
I.9 les avantages et les inconvénients de la maintenance.....	11
I.10 objectifs de la maintenance	11
I.11 Évolution de la maintenance.....	12
I.12 Les taches de la maintenance.....	12
I.13 Conclusion.....	13

Chapitre II Les paramètres de la sûreté de fonctionnement

II.1.Introduction	15
II.2 La sûreté de Fonctionnement.....	15
II.2.1 Evolution historique de sureté de fonctionnement.....	15
II.2.2 Eléments constatifs de SDF.....	17
II.2.2.1 Fiabilité.....	17
II.2.2.1.1 Fiabilité des systèmes.....	17
II.2.2.1.2 Fiabilité et taux de défaillance d'un composant élémentaire.....	17
II.2.2.1.3 MTTF.....	21
II.2.2.1.4 types de Fiabilité des systèmes.....	21
II.2.2.1.5 Les principales lois.....	22
II.2.2.1.6 Relation entre la maintenance et la fiabilité.....	28
II.2.2.2 La maintenabilité.....	29
II.2.2.3 La disponibilité.....	30
II.2.2.4 La sécurité.....	33
II.3. les méthodes d'analyse prévisionnelle [ABC(PARETO)]	33
II.3.1 Historique de PARETO.....	33
II.3.2 L'analyse ABC.....	34
II.3.3 Courbe théorique.....	35
II.4 Conclusion.....	36

Chapitre III Présentation de l'entreprise

III.1 Introduction.....	38
III.2 Représentation de MEI.....	38
III.2.1 Structure organisationnelle de la société.....	39
III.2.2 Activités de MEI.....	40
III.2.3 Les Etapes d'Accroissement De La Société MEI/Spa.....	40
III.2.4 Infrastructures.....	41
III.2.5 Les Différents Domaines d'Activités de la Société de Maintenance Des Equipements Industrielle (MEI/Spa).....	41
III.2.6 Département des ressources humaines.....	41
III.2.6.1 La DRH.....	42
III.2.6.2 Assistant HSE.....	42
III.2.7 Département de finance et comptabilité.....	43
III.2.8 Département approvisionnement – logistique.....	43
III.2.8.1 Direction commerciale.....	43
III.2.8.2 Subdivision technico-commercial	43
III.2.8.3 Subdivision facturation et recouvrement	44
III.2.9 Direction des activités diesel.....	44
III.2.9.1 Service technique diesel.....	45
III.2.9.2 Atelier diesel.....	45
III.2.10 Direction des ateliers.....	46

III.2.10.1	Atelier de réparation mécanique.....	46
III.2.10.2	Atelier de réparation Diesel.....	46
III.2.10.3	Atelier de réparation Electriques.....	47
III.2.10.4	Atelier chaudronnerie.....	47
III.2.10.5	Atelier de métallurgie.....	48
III.2.10.6	Atelier de la Fonderie De Précision.....	48
III.2.10.7	Atelier de fabrication de pièces de rechange.....	49
III.2.10.8	Le service contrôle qualité.....	49
III.3	Description l'aléuseuse-fraiseuse Modèle :WD 130A.....	50
III.3.1	Description de la version standard de la machine.....	50
III.3.2	Particularités de la machine.....	51
III.3.3	Description sommaire des principaux ensembles de la machine.....	52
III.3.4	Caractéristiques principales de la machine.....	54
III.4	Conclusion	56
<u>Chapitre IV Application de FMD sur le système choisi et amélioration de SDF</u>		
IV.1	Introduction.....	58
IV.2	Historique des pannes.....	58
IV.3	Calcul les paramètres de Weibull.....	59
IV.3.1	Test (KOLMOGOROV SMIRNOV).....	61
IV.3.2	Étude du modèle de Weibull.....	61
IV.3.2.1	présentation de logiciel utilisé.....	61
IV.3.2.2	La fonction de la densité de probabilité.....	62
IV.3.2.3	Fonction de répartition F(t).....	63
IV.4	La fiabilité R(t).....	64
IV.5	Le taux de défaillance.....	65
IV.6	La maintenabilité.....	67
IV.7	La disponibilité.....	68
IV.7.1	La disponibilité intrinsèque théorique.....	68
IV.7.2	La disponibilité instantanée.....	68
IV.8	Amélioration de la fiabilité par l'application de la maintenance préventive systématique.....	70
IV.8.1	L'application Pratique des méthodes d'analyse.....	70
IV.8.1.1	Méthodes d'analyse prévisionnelle « ABC (Pareto)».....	70
IV.8.1.2	La courbe ABC.....	70
IV.9	Proposition des solutions pour les organes les plus défaillants.....	72
IV.9.1	Plan de maintenance préventive systématique additionnel.....	72
IV.9.2	L'application de la méthode d'ordonnancement pour la minimisation du temps de réparation.....	73
IV.9.2.1	La méthode d'ordonnancement	73
IV.10	Conclusion	77
Conclusion Générale		79
Références bibliographiques		81
Annexe 01 : Tableau de loi Kolmogorov-Smirnov		a
Annexe 02 : Logiciel FIAB-OPTIM.....		b
Annexe 03 : Distribution de Weibull.....		c

Liste des figures

Figure I.1 : organigramme de différentes méthodes de la maintenance	07
Figure I.2 : L'assurance du produit	11
Figure II.1 : Exemple de densité de probabilité.....	19
Figure II.2 : Exemple de fonction de réparation.....	19
Figure II.3 : Courbe en baignoire	20
Figure II.4 : Système avec n composantes en séries	21
Figure II.5 : Système avec n composantes en parallèles.....	22
Figure II.6 : Principales propriétés de la distribution de Weibull	24
Figure II.7 : Représentation sur graphique à échelle fonctionnelle de la distribution de Weibull	25
Figure II.8 : Redressement de la courbe par translation	26
Figure II.9 : l'impact de la maintenance sur la fiabilité des équipements	29
Figure II.10 : Composante de la disponibilité.....	30
Figure II.11 Histogramme de PARETO.....	34
Figure II.12 courbe théorique d'analyse ABC.....	35
Figure III.1 Organigramme générale de société de la maintenance des équipements industriels.....	39
Figure III.2 Tour 15mètre	41
Figure III.3 révision général	44
Figure III.4 Atelier de réparation mécanique.....	46
Figure III.5 tour 6m	46
Figure III.6 Atelier réparation diesel	46
Figure III.7 réparation de stator	47
Figure III.8 réparation de rotor	47
Figure III.9 soudage tig	48
Figure III.10 CND par magnétisation	50
Figure III.11CND par ressuage	50
Figure III.12 l'aléreuse-fraiseuse WD130 A	52
Figure IV.1 Papier de Weibull : résultat de simulation du logiciel FIAB-OPTIM	60
Figure IV.2 L'interface de logiciel Fiab-Optim.....	62
Figure IV.3 la courbe de densité de probabilité.....	63
Figure IV.4 La courbe de fonction de répartition.....	64
Figure IV.5 La courbe de la fonction de fiabilité.....	65
Figure IV.6 La courbe du taux de défaillance.....	66
Figure IV.7 La courbe de la maintenabilité.....	68
Figure IV.8 La courbe de disponibilité instantanée.....	69
Figure IV.9 La courbe ABC.....	71

Liste des Tableaux

Tableaux I.1 Les ressources nécessaires pour chaque niveau de maintenance	10
Tableau IV.1 : L'historique des pannes	58
Tableau IV.1 Fonction de réparation réelle et théorique.....	59
Tableau IV.3 les paramètres de la méthode de Weibull.....	60
Tableau IV.4 les valeurs de $D_{n,max}$ et de $D_{n,\alpha}$	61
Tableau IV.5 Calcul de la densité de probabilité.....	63
Tableau IV.6 Calcul de la fiabilité.....	65
Tableau IV.7 Calcul du taux de défaillance.....	66
Tableau IV.8 Calcul de la maintenabilité.....	67
Tableau IV.9 disponibilité instantanée.....	69
Tableau IV.10 les données pour tracer la courbe ABC.....	71
Tableau IV.11 plan de maintenance préventive systématique additionnel pour les organes les plus défaillants.....	73

Glossaire

MTT	L'estimation de la durée moyenne s'écoulant entre la mise en service du système et la survenance.
MBF	Maintenance basé sur la fiabilité.
MTBF	La durée moyenne entre deux défaillances consécutives.
MTTR	Le temps moyen mis pour réparer le système.
$\lambda(t)$	Taux de défaillance.
TBF	Temps de bon fonctionnement entre deux défaillances.
f(t)	Densité de probabilité.
F (t)	La fonction de répartition.
R (t)	La fonction de fiabilité.
M(t)	Fonction maintenabilité.
D (t)	Fonction de disponibilité.
Di	Disponibilité intrinsèque.
B	paramètre de forme.
Γ	Paramètre de position.
MTBF	La durée moyenne entre deux défaillances consécutives.
Dn	La différence de test de Kolmogorov Smirnov.
$\mu(t)$	Taux de réparation.
a et b	nombre réel.
FMD	Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction général

Le rôle principal de la maintenance est de choisir une politique appropriée en prenant en considération l'aspect technique, économique et financier, des différentes méthodes en vue d'améliorer la fiabilité, la disponibilité, la maintenabilité et la sécurité (les paramètres de la sûreté de fonctionnement) des systèmes électromécaniques. [1]

Aujourd'hui, la sûreté de fonctionnement est un champ d'action privilégié de la recherche d'amélioration des performances des équipements dans l'entreprise. Cependant les méthodes et les techniques de maintenances ne possèdent pas un caractère unique et universel en fonction du type des processus industriel à maintenir et la nature des systèmes, ou équipements, il faudra mettre en œuvre des méthodes spécifiques tenant compte des technologies déployées selon les cas.

Plusieurs travaux dans le domaine de maintenance ont été faits pour optimiser les quatre paramètres de la sûreté de fonctionnement tels que :

Le travail [2], qui montre une amélioration de la disponibilité d'un système électromécanique par l'application de la méthode « maintenance basé sur la fiabilité **MBF** », cette méthode a pour but de déterminer le remplacement préventif en fonction des priorités, des facteurs économiques et impératifs de sécurité.

Dans le travail [3], une méthode a été présentée pour évaluer la fiabilité et la disponibilité, basée sur le processus de Markov et la méthode de Monte Carlo. L'application de cette méthode sur le concasseur de la société Lafarge de m'sila a pour but d'améliorer sa fiabilité et sa disponibilité.

Par contre, dans le travail [4], une méthodologie globale permettant d'évaluer et d'estimer la fiabilité des systèmes de production a été développée, cette méthodologie est un outil d'aide à la décision dans les différentes phases du cycle de vie du produit, pour une évaluation quantitative de la fiabilité prévisionnelle, expérimentale et opérationnelle.

Mais, dans notre mémoire ; les paramètres de la sûreté de fonctionnement de notre système choisi vont optimiser par une proposition d'un ensemble des solutions concernant les organes le plus tombent en panne et par suggestion d'un plan préventif basé sur les opérations de la maintenance préventive systématique. Pour atteindre cet objectif, notre mémoire est structuré en quatre chapitres dans les lignes directrices sont donnés ci-après :

- Le premier chapitre est consacré à la présentation des généralités sur la maintenance et les différents types de maintenance d'une part et l'exposition des niveaux de maintenance et les dossiers techniques d'une autre part.

Introduction général

- Le deuxième chapitre présentera une étude approfondie sur la sureté de fonctionnement dans la maintenance et la présentation mathématique de différentes méthodes de calcul de fiabilité.
 - Le troisième chapitre montera une description de l'entreprise MEI que nous allons faire notre stage, ainsi que une étude descriptive sur la machine choisi et ses caractéristiques.
 - Le quatrième chapitre est une application de l'analyse FMD par l'exploitation de l'historique de panne du système choisi et le logiciel FIAB-OPTIM sera utilisé pour calculer et présenter graphiquement les différentes fonctions telles que la fiabilité, la fonction de répartition, le taux de défaillance et la densité de probabilité. Après l'évaluation de la fiabilité du système choisi, la proposition d'appliquer la méthode ABC a pour but de déterminer les organes les plus défaillants ainsi que de résoudre les problèmes de ces organes défaillants pour améliorer la fiabilité de ce système.
- A la fin, une conclusion générale illustrera tous les résultats obtenus dans ce travail ainsi que des perspectives vont montrer les travaux futurs.

CHAPITRE I :
NOTIONS DE BASE
SUR LA MAINTENANCE

I.1 INTRODUCTION

A la fin des années 70, l'entretien était souvent le parent pauvre des services de l'entreprise. Les dirigeants le considéraient uniquement comme un poste de dépenses et ne pensaient qu'à réduire ses coûts.

L'entretien se contentait d'intervenir sur un système défaillant pour relancer la production et effectuait les opérations courantes préconisées par le constructeur. Il n'y avait donc pas de prise en compte des caractéristiques spécifiques et des conditions de fonctionnement (cadence, ancienneté, température ambiante, etc.) des matériels. On pouvait donc être conduit à effectuer (sans évaluation à priori ou à posteriori) trop ou pas assez d'entretien.

Les choses ont évolué : la part du coût machine dans le coût de production ne cesse d'augmenter aux dépens de celui de la main-d'œuvre. Ceci est dû à l'automatisation presque systématique des procédés, et à leurs coûts croissant.

Dans ces conditions, la fonction maintenance est devenue stratégique. Entretenir, c'est subir alors que maintenir, c'est prévoir et anticiper.

Les coûts directs de maintenance sont devenus secondaires voire négligeables par rapport aux coûts indirects (non production, conséquences de la panne). [5][6]

I.2 La maintenance

On définit la maintenance selon des normes telle que :

- La norme AFNOR X60-010 qui définit la maintenance par l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé . Au sens strict du terme, la maintenance agit sur les biens et considère l'ensemble des opérations d'entretien destinées à accroître la fiabilité ou pallier des défaillances. [5]

- La norme AFNOR NF EN 13306 offre une vision plus précise de la maintenance en indiquant que la maintenance intègre l'ensemble des activités techniques, administratives ou de management qui ont pour but de "maintenir ou de rétablir un équipement dans un état ou des conditions données de sûreté de fonctionnement pour accomplir une fonction requise

Généralement, elle fait partie d'un ensemble d'actions effectuées pour que l'entreprise Plus puisse prospérer. En effet, les installations industrielles sont perturbées, tout au long de leur exploitation, par des dysfonctionnements qui affectent les couts de production, la qualité des produits et des services, la disponibilité, la sureté, la sécurité des personnes... [7]

- Selon la norme française NF EN 13306 X 60-319, la maintenance peut-être définie par:" l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise".

I.2.1 La Maintenance comme politique

La maintenance est une politique qui prend en compte :

- a)- le choix des méthodes d'entretien (les différents modes de maintenances).
- b)- les améliorations.
- c)- la place des équipements dans le procédé de fabrication (hiérarchisation).
- d)- la formation du personnel d'entretien et de production. [8]

I.2.2 Le rôle de la maintenance

Le service maintenance doit mettre en œuvre la politique de maintenance définie par la direction de l'entreprise ; cette politique devant permettre d'atteindre le rendement maximal des systèmes de production. Cependant, tous les équipements n'ont pas le même degré d'importance d'un point de vue maintenance. Le service devra donc, dans le cadre de la politique globale, définir les stratégies les mieux adaptées aux diverses situations. La fonction maintenance sera alors amenée à établir des prévisions ciblées : [5]

• **Prévisions à long terme** : elles concernent les investissements lourds ou les travaux durables. Ce sont des prévisions qui sont le plus souvent dictées par la politique globale de l'entreprise.

• **Prévisions à moyen terme** : la maintenance doit se faire la plus discrète possible dans le planning de charge de la production. Il lui est donc nécessaire d'anticiper, autant que faire se peut, ses interventions en fonction des programmes de production. La production doit elle aussi prendre en compte les impératifs de suivi des matériels.

• **Prévisions à courts termes** : elles peuvent être de l'ordre de la semaine, de la journée, voire de quelques heures. Même dans ce cas, avec le souci de perturber le moins possible la production, les interventions devront elles aussi avoir subi un minimum de préparation. [5]

I.3 Les types de maintenance

Généralement, la maintenance est divisée en deux types :

- La maintenance corrective
- La maintenance préventive

I.3.1 La maintenance corrective

La maintenance corrective est définie par la norme AFNOR NF X 60 010 comme une maintenance effectuée après défaillance, où l'on distingue deux types d'intervention : [7]

Palliative (dépannage) qui basé sur l'opération de dépannage, parce que la défaillance est partielle.

Curative (réparation) qui basé sur l'opération de réparation parce que la défaillance est totale

I.3.2 La maintenance préventive

D’après la norme AFNOR (X-60-010), on peut définir la maintenance préventive comme une maintenance effectuée dans l’intention de réduire la probabilité de défaillance d’un bien ou la dégradation d’un service rendu.

On distingue deux méthodes de cette maintenance :

I.3.2.1 La maintenance préventive systématique

Selon la norme AFNOR X-60-010, on définit la maintenance systématique comme étant une maintenance préventive effectuée suivant un échéancier établi, suivant le temps ou le nombre d’unité d’usage.

I.3.2.2 La maintenance préventive conditionnelle

Selon la norme AFNOR X-60-010, on définit la maintenance conditionnelle comme étant une maintenance préventive subordonnée à un type d’événement prédéterminé révélateur de l’état du bien [5] et la maintenance préventive conditionnelle se caractérise par la mise en évidence de la partie faible de l’équipement.

- ✓ Mesure des vibrations des bruits.
- ✓ Mesure de température.
- ✓ Mesure de pression dans les différents organes.
- ✓ Analyse des vibrations : Il se fait généralement dans les ateliers de réparation située à la base industrielle.
- ✓ Analyse des huiles. [9]

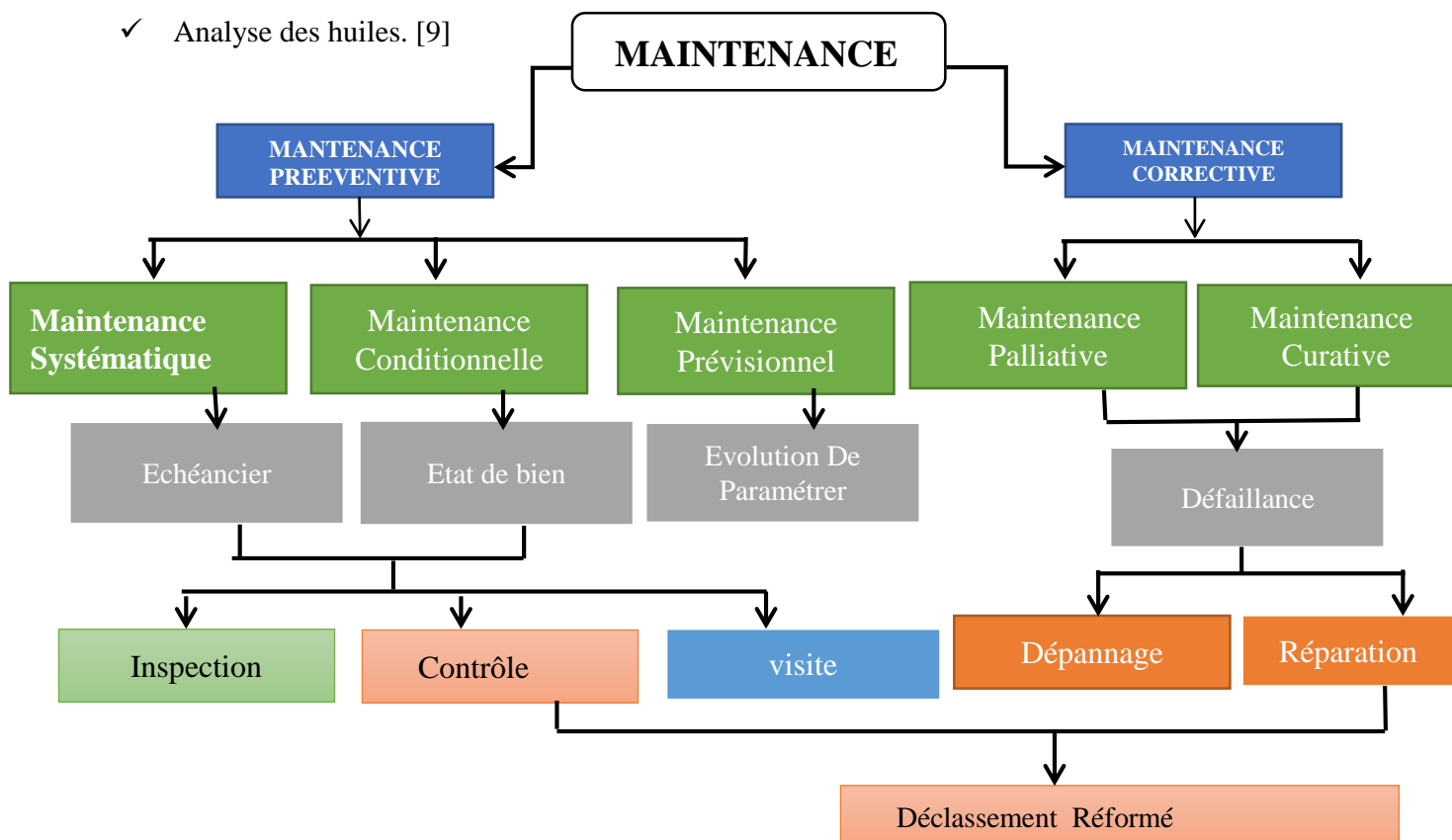


Figure I.1 Organigramme de différentes méthodes de la maintenance. [1]

I.4. Les opérations de maintenance

I.4.1 Les opérations de maintenance corrective

- **Dépannage**

Il est une action exécutée pour permettre à un bien défaillant d'accomplir sa fonction requise pendant une durée limitée jusqu'à ce que la réparation soit exécutée.

- **Réparation**

Elle est une action exécutée pour rétablir la fonction requise d'un bien en panne. L'application de la réparation peut être décidée soit immédiatement à la suite d'un incident ou d'une défaillance, soit après un dépannage, soit après une visite de maintenance préventive conditionnelle ou systématique.

- **Révisions**

Ensemble des actions et examens de contrôle et d'intervention effectuée en vue d'assurer le bien contre toute défaillance majeure ou critique, pendant un temps ou pour nombre d'unités d'usage donnée.

I.4.2 Les opérations de maintenance préventive

- **Inspection**

C'est l'activité de surveillance consistant à relever périodiquement des anomalies, et d'exécution de réglages simples ne nécessitant pas d'outillage spécifique ni l'arrêt des équipements.

- **Contrôle** jugement. Le contrôle peut comporter une activité d'information, inclure une décision, acceptation, rejet.....

- **Visite** C'est l'opération de surveillance de maintenance préventive systématique qui s'opère selon une périodicité prédéterminée. Ces interventions correspondent à une liste d'organes et un immobilisation

Du matériel. [10]

I.5 Les niveaux de maintenance

Les opérations à réaliser sont classées, selon leur complexité, en cinq niveaux. Les niveaux pris en considération sont ceux de la norme NF X-60-010.

I.5.1 1er niveau de maintenance

Actions simples nécessaires à l'exploitation et réalisées sur des éléments facilement accessibles en toute sécurité à l'aide d'équipement de soutien intégré au bien. Ce type d'opération peut être effectué par l'utilisateur du bien avec, le cas échéant, les équipements de soutien intégrés au bien et à l'aide des instructions d'utilisation.

I.5.2 2^{ème} niveaux de maintenance

Actions qui nécessitent des procédures simples et des équipements de soutien (intégrés au bien ou extérieurs) d'utilisation ou de mise en œuvre simple. Ce type d'actions de maintenance est effectué par un personnel qualifié avec les procédures détaillées et les équipements de soutien définis dans les instructions de maintenance. Un personnel est qualifié lorsqu'il a reçu une formation lui permettant de travailler en sécurité sur un bien présentant certains risques potentiels, et est reconnu apte pour l'exécution des travaux qui lui sont confiés, compte tenu de ses connaissances et de ses aptitudes

I.5.3 3^{ème} niveaux de maintenance

Opérations qui nécessitent des procédures complexes et des équipements de soutien portatifs, d'utilisation ou de mise en œuvre complexes. Ce type d'opération de maintenance peut être effectué

par un technicien qualifié, à l'aide de procédures détaillées et des équipements de soutien prévus dans les instructions de maintenance

I.5.4 4^{ème} niveaux de maintenance

Opérations dont les procédures impliquent la maîtrise d'une technique ou technologie particulière et la mise en œuvre d'équipements de soutien spécialisés. Ce type d'opération de maintenance est effectué par un technicien ou une équipe spécialisée à l'aide de toutes instructions de maintenance générales ou particulières.

I.5.5 5^{ème} niveaux de maintenance

Opérations dont les procédures impliquent un savoir-faire, faisant appel à des techniques ou technologies particulières, des processus et des équipements de soutien industriels, Par définition, ce type d'opérations de maintenance (rénovation, reconstruction, etc.) est effectué par le constructeur ou par un service ou société spécialisée avec des équipements de soutien définis par le constructeur et donc proches de la fabrication du bien concerné .[5]

Ces niveaux de maintenance font référence à la complexité des tâches à effectuer et aux ressources humaines et matérielles nécessaires à la réalisation de chacune des tâches. Cette spécification est détaillée dans le tableau 1. Le système de maintenance ainsi situé permet de préciser, de limiter et de dégager les responsabilités et les attentes envers ce système. Cependant, ceci constitue une condition nécessaire mais malheureusement non suffisante pour réussir l'implantation d'un système de maintenance dans une entreprise. [11]

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

Tableau I.1 Les ressources nécessaires pour chaque niveau de maintenance [3]

I.6 L'intérêt de maintenance

Généralement, la maintenance est jouée un rôle très important dans le domaine industriel à cause de leurs intérêts tel que:

- ❖ Diminuer les travaux urgents.
- ❖ Faciliter la gestion de la maintenance.
- ❖ Favoriser la planification des travaux.
- ❖ Rendre possible la préparation, l'ordonnancement et la gestion des stocks
- ❖ Eviter les périodes de dysfonctionnement avant panne, ainsi que les dégâts éventuels provoqués par une panne intempestive.
- ❖ Augmenter la sécurité. [5]

I.7 L'environnement de la maintenance

La maintenance s'intègre dans le concept global de la sûreté de fonctionnement, qui lui-même s'intègre dans l'assurance Produit.

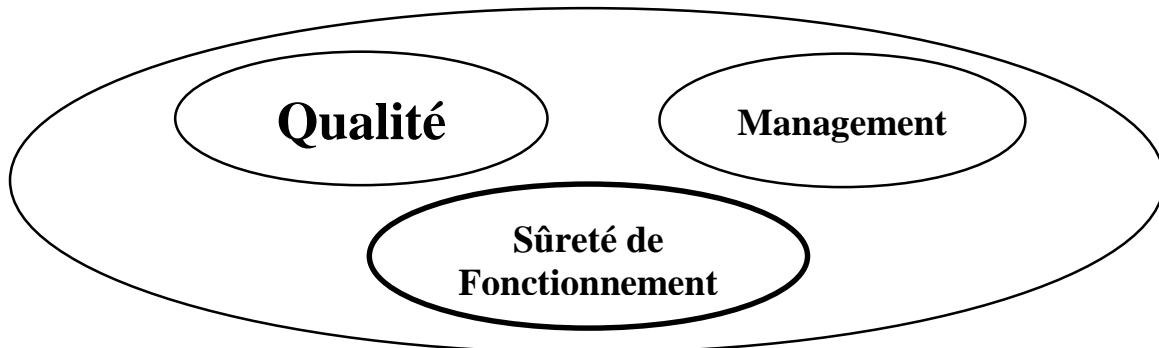


Figure I.2 : assurance du produit. [12]

I.8 La mise en place de la maintenance

- 1) Etude préalable pour déterminer un coût probable.
- 2) Choisir les fréquences fixes d'intervention (en rapport avec la MTBF).
- 3) Planification des tâches et mesures de sécurité.
- 4) Préparation des documents.
- 5) Exécution et rapports de visite.
- 6) Exploitation des résultats : pour l'historique et le réajustement des fréquences. [5]

I.9 Les avantages et les inconvénients de la maintenance

➤ Les avantages de la maintenance

C'est une maintenance facile à gérer car les périodes d'interventions sont fixes, elle permet

- d'éviter les détériorations importantes.
- de diminuer les risques d'avaries imprévues.

➤ Les inconvénients de la maintenance

Reposer sur la notion de MTBF et ne prendre pas en compte les phénomènes d'usure.

I.10 Objectifs de la maintenance

L'objectif de la maintenance est de limiter les effets de ces perturbations afin d'atteindre les performances exigées et des actions sont élaborées de manière à :

- ❖ Limiter les indisponibilités,
- ❖ Garantir la qualité des produits et des services,
- ❖ Maîtriser les coûts,
- ❖ Protéger les personnes, l'environnement et les biens. [12]

I.11 Évolution de la maintenance

Au fil du développement de la concurrence et de la course à la compétitivité qui entraîne la recherche de la qualité totale et surtout la réduction des coûts, au fur et à mesure de la complexification et de l'automatisation des processus de production, la maintenance est devenue une des fonctions stratégiques de l'entreprise. Loin d'être aujourd'hui stabilisée, elle évolue au gré des nouvelles technologies de l'information et de communication NTIC, l'introduction de nouvelles méthodes de gestion, du développement technologique des outils de production, en particulier dans les domaines de la mesure et du contrôle de fonctionnement, de la systématisation progressive, de l'usage des normes et des procédures. [5]

I.12 Les tâches de la maintenance

Les politiques de maintenance définies selon la méthode OMF sont composées d'opérations de maintenance différentes :

Des tâches de maintenance préventive systématique : des remplacements de tout ou partie d'un matériel effectués à dates fixes, des observations de l'état du matériel (contrôles, inspections, tests, ...), des tâches de maintenance préventive conditionnelle : des tâches de remise en état entraînées par la détection d'une éventuelle dégradation, des tâches de maintenance corrective : des tâches de remise en état effectuées suite à la défaillance du matériel.

Les tâches de remise en état préventives systématiques et correctives sont relativement simples à décrire puisque leur processus de décision dépend soit d'une Périodicité donnée soit de l'apparition d'un mode de défaillance. On peut dans ce cas se référer aux modèles de maintenance élémentaires, parmi lesquels :

- ❖ les modèles basés sur l'âge, ou âge-replacement policiers,
- ❖ les modèles de remplacement par blocs, ou block-replacement policiers,

En revanche, les tâches de maintenance préventive conditionnelle sont basées sur l'observation de l'état de dégradation du matériel. Il faut donc représenter les phénomènes qui peuvent être à l'origine des décisions de remise en état, à savoir:

- ❖ le mécanisme de dégradation lui-même, comme dans la majorité des modèles de maintenance conditionnelle en général. [13]

I.13 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons illustré la notion de maintenance, classifié leurs différentes méthodes et montré ses objectifs dans le domaine industriel d'une part et on a cité les opérations de maintenance et vu les cinq niveaux de maintenance d'une autre part. Dans le chapitre suivant, on va étudier la sûreté de fonctionnement et voir les paramètres de SDF.

CHAPITRE II :
LES PARAMÈTRES DE
LA SURÉTÉ DE FONCTIONNEMENT

II .1 Introduction

Dans l'industrie, on parle de plus en plus de sûreté de fonctionnement. Cette discipline, qui a acquis ce nom et sa forme actuelle principalement au cours du dernier demi-siècle et dans les secteurs de la défense, de l'aéronautique, de l'espace, du nucléaire, puis des télécommunications et des transports, serait désormais utile, voire indispensable, à tous les secteurs de l'industrie et même d'autres activités.

De quoi s'agit-il ? La sûreté de fonctionnement est une riche palette de méthodes et de concepts au service de la maîtrise des risques. [14]

La Sûreté de fonctionnement(Sdf) ou la science des « défaillances » qui est suivant les domaines d'applications : analyse de risque (milieu pétrolier),élastique, cinétique (science du danger), FMD (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité) que nous avons l'étudiée dans ce chapitre II, où on caractérisons à la fois par les études structurelles statiques et dynamiques des systèmes, du point de vue prévisionnel mais aussi opérationnel et expérimental (essais, accidents), en tenant compte des aspects probabilités et des conséquences induites par les défaillances techniques et humaines.[5]

II.2 La sûreté de fonctionnement

II.2.1 Évolution historique de sûreté de fonctionnement

Avant de donner les nombreuses définitions exactes et de résumer certaines notions, il est bon de rappeler l'historique des évolutions industrielles ou autres qui ont amené à préciser ces notions. Dans les années du milieu du XXème siècle, il s'est avéré que les produits fabriqués, de technologie de plus en plus complexe, n'avaient pas la fiabilité qu'on pouvait en espérer : nombreux appareils défectueux avant même d'être livrés, fonctionnement ne répondant pas aux besoins, mauvaise adaptation à la maintenance, fragilité, etc. Ce sont les notions de complexité d'une part et de recherche d'une plus grande sécurité d'autre part, qui ont influencé l'évolution industrielle au cours du XXème siècle. En ce qui concerne la « sécurité » et la « sûreté de fonctionnement », les utilisateurs aussi bien que les concepteurs, confrontés aux dysfonctionnements divers, évoquaient la notion de « mauvaise qualité » ou de « fiabilité insuffisante » mais aussi de risques (risques de panne, risque d'indisponibilité, risque d'accident) avec une hiérarchie allant du simple risque de mauvais fonctionnement à la catastrophe. Différents acteurs du développement ou de l'utilisation avaient peu de liens entre eux : des utilisateurs confrontés à des produits mal adaptés ou non fiables, des développeurs peu au courant de l'utilisation réelle des produits, des fabricants confrontés aux défauts lors des contrôles, des responsables de sécurité souhaitant réduire le nombre d'accidents. [15-16]

Ainsi, les problèmes rencontrés commençaient à être classés en deux catégories, celles relevant de la :

- sûreté de fonctionnement d'une part, incluant fiabilité (réponse au risque de panne), maintenabilité (réponse au risque de maintenance difficile, voire impossible), disponibilité (réponse au risque de non
- mise à disposition au moment du besoin)
- sécurité d'autre part, (réponse au risque d'accident ou de catastrophe).

L'ensemble de ces évolutions s'est fait progressivement à partir des années 1950 et 1960. L'électronique et l'informatique de pointe ont été les secteurs pionniers de la sûreté de fonctionnement en raison, entre autres, d'une volonté politique de réussite dans les secteurs spatial ou nucléaire. Le domaine militaire conventionnel a suivi rapidement, puis celui du civil complexe (aéronautique, centraux téléphoniques, etc.), enfin le domaine grand public (automobiles, téléviseurs, etc.).

En matière de réglementation et de normalisation, la prise en compte des notions de sûreté a amené à constituer des groupes de travail dans les différents organismes nationaux ou internationaux, puis à établir des liens entre eux. L'objectif était de rendre le plus cohérent possible les nombreux textes existants. Cependant, il est important de constater une scission entre les groupes qui incluent la sécurité dans la sûreté de fonctionnement et ceux qui la mettent à part, une difficulté supplémentaire étant apportée par la traduction anglais-français (exemple : *dependability, security, safety*).

Enfin, un critère qui s'est développé progressivement est celui du facteur humain, dont les dysfonctionnements ajoutent un éclairage supplémentaire aux analyses de risque. Ainsi, au fil des temps, à partir de différents domaines de l'activité industrielle et de différentes fonctions dans l'entreprise, les acteurs économiques ont regroupé l'ensemble des problèmes liés aux risques dans ces deux notions de sûreté de fonctionnement et de sécurité, qui se retrouvent dans la notion très globale de maîtrise des risques.[14]

Après cette bref synthèse de l'évolution historique qui a amené à l'étude et à la détermination des notions de sûreté de fonctionnement et de sécurité, nous donnons dans la suite les diverses définitions des fonctions, comportements et services d'un système ainsi que les concepts de base de la sûreté. Nous présentons ensuite les attributs de la sûreté (disponibilité, fiabilité, sécurité-innocuité, confidentialité, intégrité, maintenabilité), les entraves de la sûreté (fautes, erreurs, défaillances) et enfin les moyens pour la sûreté (prévention des fautes, tolérance aux fautes, élimination des fautes, prévision des fautes). [5]

La **sûreté de fonctionnement** est définie comme l'aptitude à délivrer un service de confiance justifiée. Cette définition met l'accent sur la justification de la confiance, cette dernière pouvant être définie comme une dépendance acceptée explicitement ou implicitement. La **dépendance** d'un système d'un autre système est l'influence, réelle ou potentielle, de la sûreté de fonctionnement de ce dernier sur la sûreté de fonctionnement du système considéré. La **fonction** d'un système est ce à quoi le système est destiné, comme elle est décrite par la spécification fonctionnelle, qui inclut les performances attendues du système. Le **comportement** d'un système est ce que le système fait pour accomplir sa fonction, et est décrit par une séquence d'états. Le **service** délivré par un système est son comportement tel que perçu par son ou ses utilisateurs. Un **utilisateur** est un autre système, éventuellement humain, qui est en interaction avec le système considéré. La partie de la frontière du système où ont lieu les interactions avec ses utilisateurs est l'**interface** du service. Un service est considéré correct si et seulement si le service délivré accomplit la fonction du système. La **défaillance** (du service) est un événement qui survient lorsque le service délivré dévie du service correct, soit parce qu'il n'est plus conforme à la spécification, soit parce que la spécification ne décrit pas de manière adéquate la fonction du système. Une **erreur** est une partie de l'état susceptible d'entraîner une défaillance. Une **faute** est une cause adjugée ou supposée d'une erreur. Les modes de défaillance sont les manières selon lesquelles un système peut défaillir, classées selon leur gravité.

La **sûreté de fonctionnement** peut aussi être définie comme l'aptitude à éviter des défaillances du service plus fréquentes ou plus graves que ce qui est acceptable. Les défaillances du service plus fréquentes ou plus graves que l'acceptable sont les défaillances de la sûreté de fonctionnement. [15-16]

II.2.2 Eléments constatifs de SDF

II.2.2.1 La Fiabilité

II.2.2.1.1 Fiabilité des systèmes

Dans cette partie nous allons exposer les principales définitions utilisées dans les analyses de la fiabilité des systèmes ainsi que les indicateurs et les paramètres utilisés dans ce domaine.

II.2.2.1.2 Fiabilité et taux de défaillance d'un composant élémentaire

D'après la norme AFNOR (Association française de normalisation) X NF, 06-501, 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.

La fiabilité $R(t)$ d'un composant élémentaire à l'instant t est généralement mesurée par la probabilité qu'il n'y ait pas de défaillance sur l'intervalle de temps $[t_0, t]$ sous des conditions de fonctionnement données, sachant que le système est en bon fonctionnement à l'instant t_0 .

D'autres fonctions peuvent être déterminées à partir de $R(t)$ par exemple $F(t) = 1 - R(t)$: la fonction complémentaire de la fiabilité définie par la probabilité qu'un composant soit défaillant entre t_0 et t .

Par ailleurs, le taux de défaillance $\lambda(t)$ permet d'estimer la probabilité conditionnelle qu'une défaillance se produise sur le composant élémentaire pendant un temps δt à l'instant t , en sachant que le composant n'a pas eu de défaillance sur $[t_0, t]$.

Puisque nous allons utiliser ces grandeurs dans les calculs de la suite du travail, nous exposons ces concepts d'une manière plus détaillée.

Soit T une variable aléatoire mesurant la durée de fonctionnement du composant avant défaillance (ou également la durée de vie pour les composants non réparables).

Sachant qu'une variable aléatoire est définie par sa fonction de répartition et par sa densité de probabilité. [17]

- $F(t) = P[T \leq t]$ est la fonction de répartition de la variable aléatoire T . Elle possède les propriétés

$$\lim_{x \rightarrow 0} F(t) = 0 \text{ et } \lim_{x \rightarrow \infty} F(t) = 1 \quad (\text{II.1})$$

$F(t)$ est non décroissante $0 \leq F(t) \leq 1$.

- $f(t)$ est la densité de probabilité de T (ou fonction de distribution) :

$$F(t) = \int_{-\infty}^t f(u) du \quad (\text{II.2})$$

$f(t)dt$ est la probabilité pour que T soit compris entre t et $t + \delta t$.

Les figures (II.1) et (II.2) illustrent des exemples de fonctions de répartition et la densité de probabilité. $F(t_1)$ est la surface délimitée par la courbe $f(t)$ et la droite qui coupe l'axe de t à l'instant t_1 , pour cette raison la fonction de répartition est appelée également la probabilité cumulée.

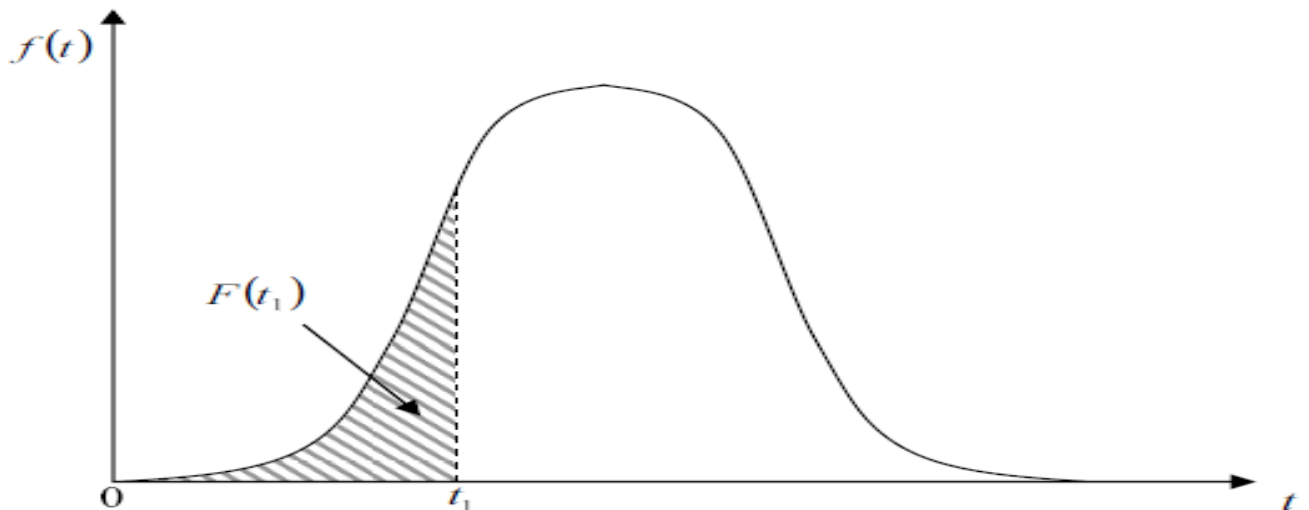


Figure II.1 Exemple de densité de probabilité

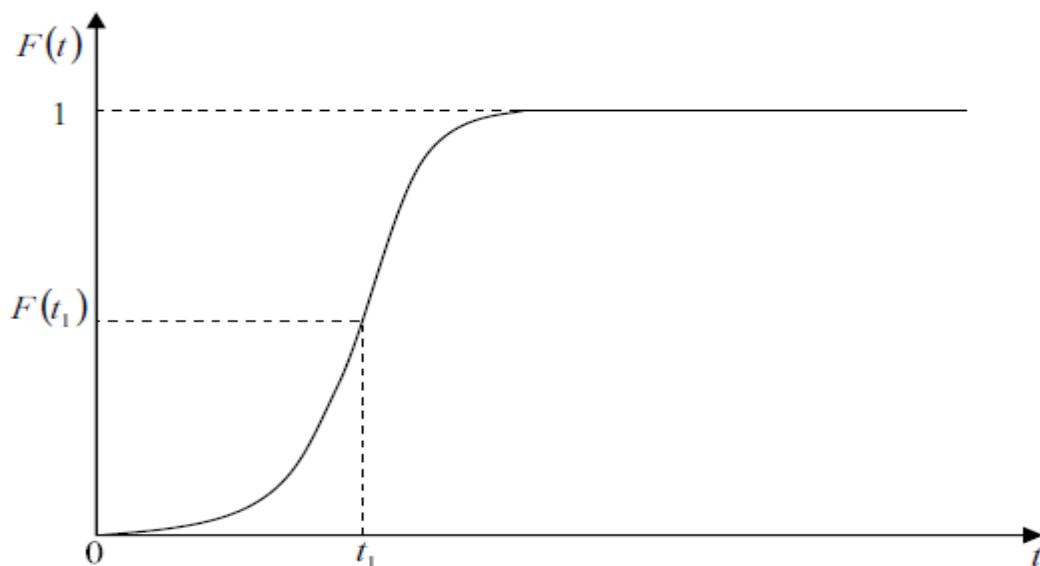


Figure II.2 Exemple de fonction de répartition

Rappelons que par définition :

$$R(t) = P[T > t] \text{ et } F(t) = 1 - R(t) \tag{II.3}$$

Par conséquent, la fonction complémentaire de la fiabilité $F(t)$ est la fonction de répartition de T et $R(0) = 1, R(\infty) = 0$.

D'après la définition précédente, nous pouvons écrire le taux de défaillance $\lambda(t)$:

$$\lambda(t) = \lim_{\delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\delta t} P[t < T \leq t + \delta t | T > t] \tag{II.4}$$

Nous pouvons l'écrire également :

$$\lambda(t) dt = P[t < T \leq t + \delta t | T > t] \tag{II.5}$$

D'après le théorème des probabilités conditionnelles, l'équation devient :

$$\lambda(t)dt = \frac{P[t < T \leq t + \delta t \cap T > 1]}{P[T > t]} \quad (\text{II.6})$$

Sachant que $T > t$ est incluse dans l'événement $t < T \leq t + \delta t$ donc

$$P[t < T \leq t + dt \cap T > t] = P[t < T \leq t + dt] = f(t) dt = -\frac{dR(t)}{dt} dt \quad (\text{II.7})$$

Notons que $R(t) = P[T > t]$.

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

$$\lambda(t) = -\frac{dR(t)}{R(t)} \mid t_0 = 0 \quad (\text{II.8})$$

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

$$R(t) = \exp\left\{-\int_0^t \lambda(t) dt\right\} \quad (\text{II.9})$$

Comme l'indique la courbe en baignoire de la figure (II.3), le taux de défaillance est dépendant du temps sur toute la durée de vie du composant élémentaire. Durant la période de jeunesse, les pannes nombreuses du début diminuent avec le temps contrairement à la période de vieillissement où le nombre de pannes s'accroît sans cesse. La période la plus importante est la période de vie utile durant laquelle le nombre de pannes est le plus faible. Pour simplifier les calculs, il est communément admis pendant la période de vie utile que le taux de défaillance soit approximé par une constante appelée λ .

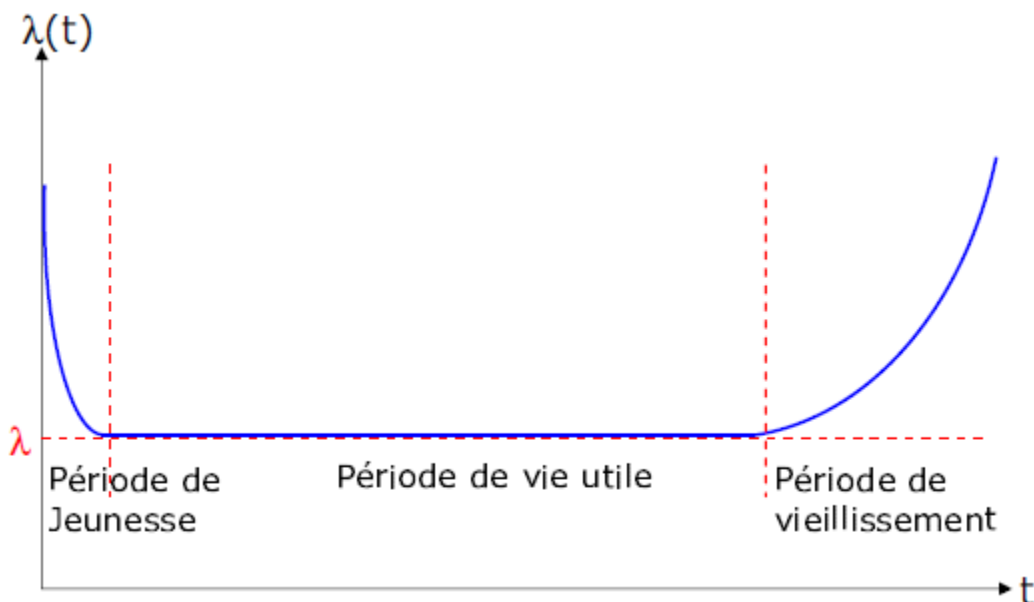


Figure II.3 Courbe en baignoire.

Sinon, le problème posé est de modéliser ces grandeurs par des lois de probabilité connues. En effet, il existe plusieurs lois, à titre d'exemple la loi exponentielle, la loi normale, la loi log-normale, la loi de Weibull et la loi Gamma.

II.2.2.1.3 MTTF

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

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (II.10)$$

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

Dans le cas d'une distribution exponentielle, lorsque le taux de défaillance est constant, le temps moyen de fonctionnement MTTF est égal à $\frac{1}{\lambda}$.

II.2.2.1.4 types de Fiabilité des systèmes

Dans le cas des systèmes multi composants la défaillance du système dépend de la défaillance d'un certain nombre de composants suivant la structure du système. Pour calculer la fiabilité d'un système, son taux de défaillance et son MTTF à partir des propriétés de ses composants (fiabilité, taux de défaillance et MTTF), il faut définir la structure de propagation des défaillances dans le système.

En fiabilité, deux types de systèmes sont à distinguer les systèmes ayant une structure élémentaire et ceux ayant une structure complexe. Une structure élémentaire contient des composants indépendants en série ou en parallèle ou toutes combinaisons possibles de ces deux cas. Un système pouvant être décomposé en plusieurs modules à structure élémentaire est considéré comme système simple ou compliqué si sa taille est très importante. À l'inverse nous parlons de systèmes complexes quand le système n'est pas constitué de structure élémentaire et si les composants ne sont pas indépendants. [5]

➤ Composants en série

Soit un système S constitué de n composants Ci en série, $i = 1 \dots n$.

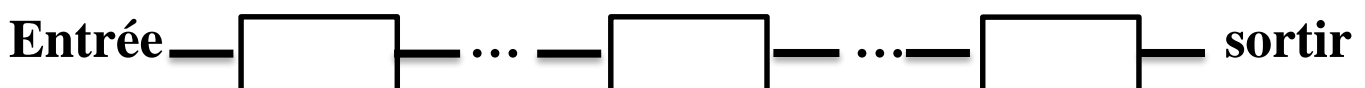


Figure II.4 Système avec n composantes en séries

La fiabilité du système est :

$$R_{sys}(t) = \prod_{i=1}^n R_i \quad (II.11)$$

Avec $R_i(t)$ la fiabilité du composant Ci.

➤ **Composants en parallèle**

Soit un système S constitué de n composants C_i en parallèle,

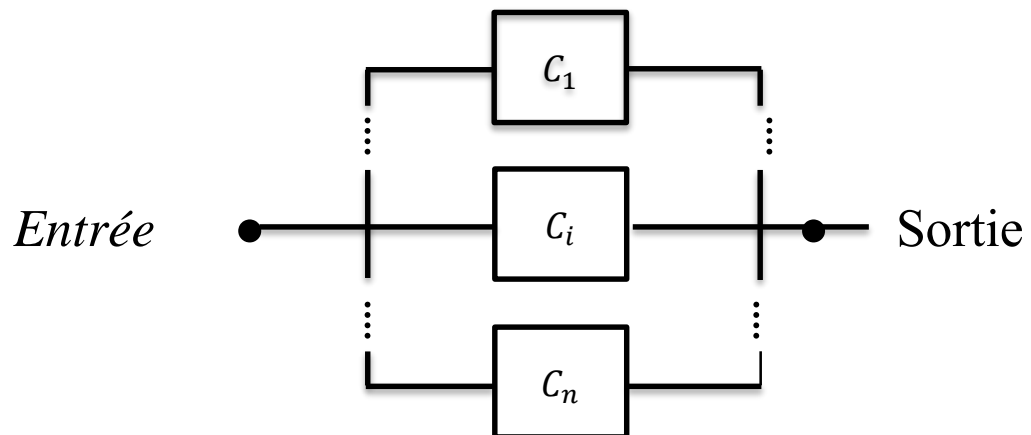


Figure II.5 Système avec n composants en parallèles

La fiabilité du système est :

$$R_{sys}(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i(t)) \quad (II.12)$$

II.2.2.1.5 Les principales lois

La fiabilité est, de plus en plus fréquemment, une grandeur quantitative et nécessite la connaissance des distributions de durée de vie afin de l'estimer. Dans le cadre du système mécatronique, ces distributions doivent absolument tenir compte de tous les mécanismes de défaillance associés aux différentes technologies.

Nous présentons dans cette section les lois et les modèles de fiabilité susceptibles, selon l'expérience, de représenter des distributions de durée de vie qui interviennent le plus fréquemment dans l'analyse de la fiabilité mécatronique. Nous rappelons les principales propriétés de ces lois, les fonctions de fiabilité associées, les densités de probabilité ainsi que les taux de défaillance. [18]

❖ Loi exponentielle

Cette loi a de nombreuses applications dans plusieurs domaines. Elle décrit la vie des matériels qui subissent des défaillances brutales. La loi exponentielle est la plus couramment utilisée en fiabilité électronique pour décrire la période durant laquelle le taux de défaillance des équipements est considéré comme constant (défaillance aléatoire). Elle décrit le temps écoulé jusqu'à une défaillance, ou l'intervalle de temps entre deux défaillances.

Elle est définie par un seul paramètre, le taux de défaillance, λ . [19]

Elle est caractérisée par :

– la fiabilité

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (II.13)$$

– la densité de probabilité

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (II.14)$$

– le taux de défaillance

$$\lambda(t) = \lambda \quad (II.15)$$

❖ **Loi de Weibull:**

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

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

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

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

- 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

Densité de probabilité $f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (II.16)$

Fonction de répartition : $F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (II.17)$

Loi de fiabilité: $R(t) = 1 - F(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (II.18)$

Taux de défaillance : $\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1-F(t)} = \frac{\frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}}{e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}} \Rightarrow \lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (II.19)$

Remarque si : $\begin{cases} \gamma = 0 \\ \beta = 1 \end{cases} \Rightarrow \lambda(t) = \frac{1}{\eta} = \frac{1}{MTBF} \quad (II.20)$

$a = \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$ et $b = \sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)} \quad (II.21)$

Moyenne des temps de bon fonctionnement: $MTBF = \gamma + \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (II.22)$

En fonction de β ; d'où $MTBF = \gamma + a \eta \quad (II.23)$

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

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{II.24})$$

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

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

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (\text{II.27})$$

Donc $\gamma = 0$ ou, en faisant le changement de variable, $t_1 = t - \gamma$, on obtient la distribution de Weibull à 2 paramètres, définie pour t (ou t_1) positif ou nul, dont les caractéristiques sont illustrées sur la (Figure II-3)

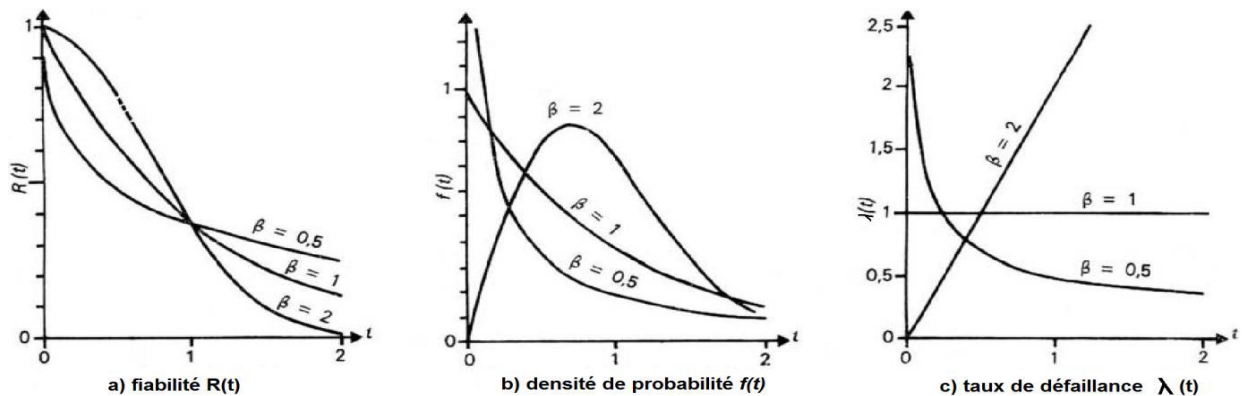


Figure II.6 : Principales propriétés de la distribution de Weibull

- Application à la fiabilité

Suivant les valeurs de β , le taux de défaillance est

Soit décroissant ($\beta < 1$),

Soit constant ($\beta = 1$),

Soit croissant ($\beta > 1$).

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

Le cas $\gamma > 0$ correspond à des dispositifs dont la probabilité de défaillance est infime jusqu'à un certain âge γ .

- Estimation des paramètres de la loi de Weibull

Un des problèmes essentiel est l'estimation des paramètres (β, η, γ) de cette loi, pour cela, nous disposons de la méthode suivante :

Graphique à échelle fonctionnelle

Si pour la distribution de Weibull à 2 paramètres, on fait la transformation :

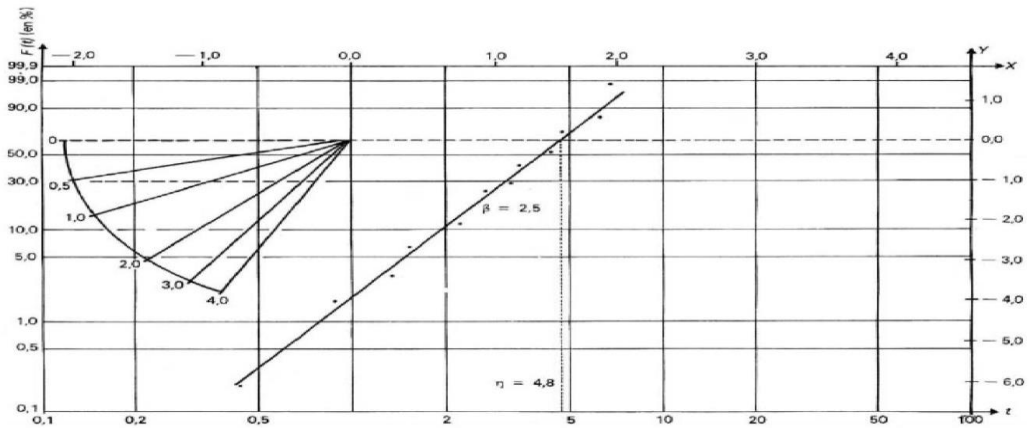


Figure II.7 Représentation sur graphique à échelle fonctionnelle de la distribution de Weibull

- A : Axe de t
 - B : axe de F(t) (en %)
 - a : Ln (t)
 - b : Ln (Ln (1/ [1-F(t)]))
- (Sur Figure II.7)

X et Y : permettent de déterminer bêta (Y = bêta X)

L'historique permet de déterminer des Temps de bon fonctionnement et des fréquences cumulées de défaillance F(i), approximation de F(t).

- Préparation des données :

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

On a 3 cas différents :

- 1- Si N > 50, regroupement des Temps de bon fonctionnement par classes avec la fréquence cumulée :

$$F(i) = \frac{Ni}{N} = \sum \frac{Ri}{N} \approx F(t) \quad (II.28)$$

- 2- Si 20 < N < 50, On affecte un rang "Ni" à chaque défaillance (approximation des rangs moyens):

$$F(i) = \frac{Ni}{N+1} \approx F(t) \quad (II.29)$$

- 2- Si N < 20, On affecte un rang "Ni" à chaque défaillance (approximation des rangs médians):

$$F(i) = \frac{Ni-0.3}{N+0.4} \simeq F(t) \quad (II.30)$$

Et on fait le Tracé du nuage des points M (F(i), t) :

➤ **Recherche de γ :**

Si le nuage de points correspond à une droite, alors $\gamma = 0$. ($\gamma = 0$)

Si le nuage de points correspond à une courbe, on la redresse par une translation de tous les points en ajoutant ou en retranchant aux abscisses "t", une même valeur (γ) afin d'obtenir une droite comme le montre la figure suivante.

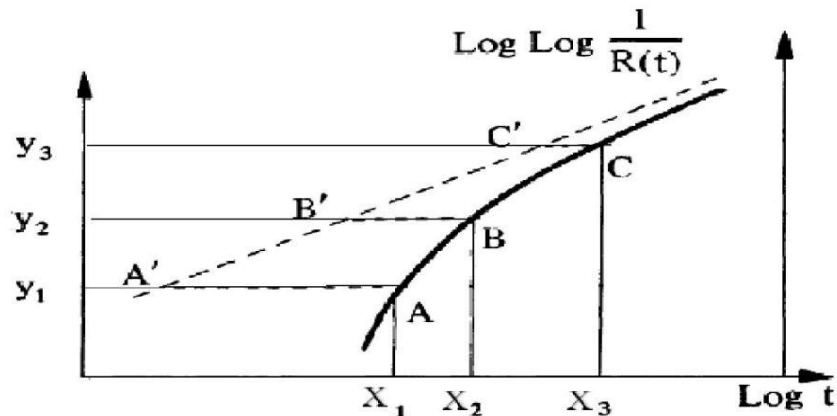


Figure 0II.8 Redressement de la courbe par translation

❖ **Loi normale**

La loi normale est très répandue parmi les lois de probabilité car elle s'applique à de nombreux phénomènes. La loi normale est définie par la moyenne μ et l'écart type σ :

– la fonction de répartition. [19]

$$F(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx \quad (II.31)$$

– la densité de probabilité

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (II.32)$$

La fiabilité est donnée par:

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (II.33)$$

Si t suit une loi normale (μ, σ), $u = \frac{t-\mu}{\sigma}$ suit une loi normale centrée réduite dont la fonction de répartition, notée ϕ , est donnée par :

$$\Phi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{x^2}{2}} dx \quad (II.34)$$

❖ **Loi log-normale**

Une variable aléatoire continue et positive t est distribuée selon une loi log normale si son logarithme est distribué suivant une loi normale. Cette distribution est utilisée en fiabilité pour modéliser les défaillances par fatigue. La loi log-normale a deux paramètres μ et σ :

– la fiabilité

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{\log(t) - \mu}{\sigma}\right) \quad (\text{II.35})$$

– la densité de probabilité

$$f(t) = \frac{1}{\sigma \cdot t \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\log(t) - \mu}{\sigma}\right)^2} \quad (\text{II.36})$$

– le taux de défaillance

$$\lambda(t) = \frac{e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\log(t) - \mu}{\sigma}\right)^2}}{t \int_0^{\infty} \sqrt{2\pi} f(t) dt} \quad (\text{II.37})$$

❖ Loi Gamma

Elle représente la loi de probabilité d'occurrence de a événements dans un processus poissonnier. Par exemple si t_i est le temps entre les défaillances successives d'un système, et que t_i suive une distribution exponentielle, le temps cumulé d'apparition de a défaillances suit une loi Gamma :

– la densité de probabilité

$$f(t) = \frac{t^{a-1} e^{-\frac{t}{b}}}{b^a \Gamma(a)} \quad (\text{II.38})$$

– le taux de défaillance

$$\lambda(t) = \frac{t^{a-1} e^{-\frac{t}{b}}}{b^a \int_t^{\infty} \Gamma(a) f(u) du} \quad (\text{II.39})$$

❖ Loi Bêta

Cette loi représente, en particulier, la probabilité pour qu'un matériel survive jusqu'à un instant t , quand on essaie n matériels. D'où son intérêt dans l'évaluation de la durée des essais de fiabilité. La loi Bêta a deux paramètres a et b :

– la densité de probabilité

$$f(t) = \frac{\Gamma(a+b)}{\Gamma(a)\Gamma(b)} t^{a-1} \cdot (1-t)^{b-1} \quad (\text{II.40})$$

❖ **Loi uniforme**

La loi uniforme est souvent utilisée en fiabilité pour les essais bayésiens en l'absence de connaissances pour construire l'information a priori. Cette loi peut prendre toute valeur dans un intervalle (a, b) avec une densité de probabilité constante.

– la fonction de répartition

$$F(t) = \frac{t-a}{b-a} \quad (\text{II. 41})$$

– la densité de probabilité

$$f(t) = \frac{1}{b-a} \quad (\text{II. 42})$$

❖ **La loi de Birnbaum-Saunders**

Pour caractériser des défaillances dues à la propagation de fissure par fatigue, Birnbaum et Saunders (1969) ont proposé une distribution de vie basée sur deux paramètres. Cette distribution, pour une variable aléatoire non négative T, est obtenue en tenant compte des caractéristiques de base du processus de fatigue. La variable aléatoire T représente les instants de défaillance.

La densité de probabilité d'une loi Birnbaum et Saunders de paramètres α et β est donnée par la formule :

$$f(t) = \frac{1}{2\sqrt{2\pi} \alpha^2 \beta t^2} \cdot \frac{t^2 - \beta^2}{\left(\frac{t}{\beta}\right)^{\frac{1}{2}} - \left(\frac{\beta}{t}\right)^{\frac{1}{2}}} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2\alpha^2} \left(\frac{t}{\beta} + \frac{\beta}{t}\right)\right] \quad (\text{II. 43})$$

Avec $t > 0; \alpha > 0, \beta > 0$

La fonction de fiabilité est donnée par la formule:

$$R(t) = 1 - \Phi\left\{\frac{1}{\alpha} \left[\left(\frac{t}{\beta}\right)^{\frac{1}{2}} - \left(\frac{\beta}{t}\right)^{\frac{1}{2}}\right]\right\} \quad \alpha > 0, \beta > 0 \quad (\text{II. 44})$$

Où Φ est la fonction de répartition de la loi normale centrée réduite. [5]

II.2.2.1.6 Relation entre la maintenance et la fiabilité

La figure II.6 présente la contribution des différents types de maintenance en ce qui concerne la fonction de fiabilité (R(t)) et la durée de vie utile de l'équipement.

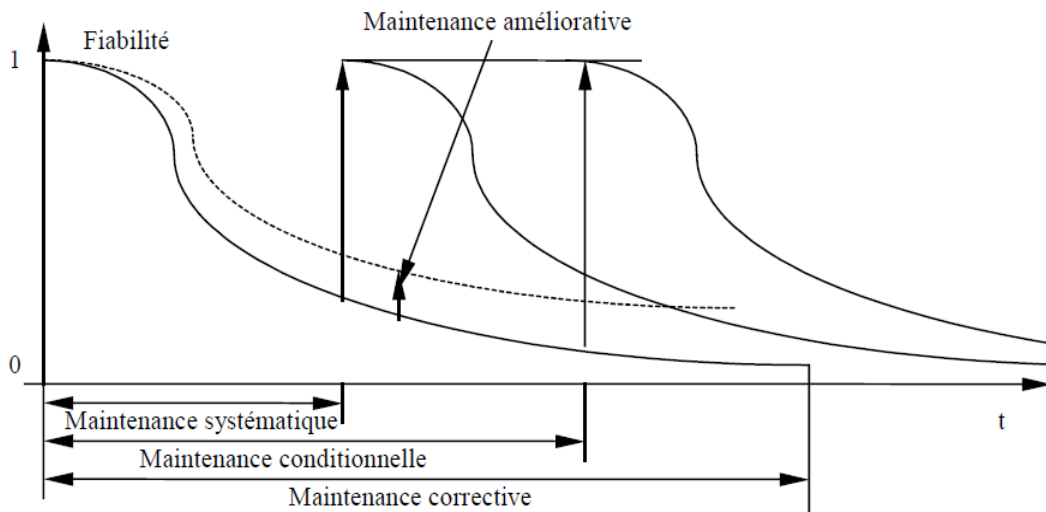


Figure II.9 : l'impact de la maintenance sur la fiabilité des équipements.

Il va sans dire qu'une réduction du taux de panne $\lambda(t)$ entraîne une amélioration de la fonction de fiabilité $R(t)$. C'est dans cette optique que la maintenance améliorative a été instaurée. La maintenance préventive, avec toutes ses variantes, va en revanche tenter de ramener le taux de panne à son niveau le plus bas en remplaçant la composante usée sans améliorer les caractéristiques intrinsèques de l'équipement. [15]

II.2.2.2 La Maintenabilité

❖ Définition

C'est l'aptitude d'un système à être maintenue ou rétablie dans un état dans lequel elle peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits (AFNOR (1993), norme NF x 60- 010). C'est la probabilité que la maintenance d'un système S accomplie dans des conditions données, soit effectuée sur l'intervalle $(0, t)$ sachant qu'il est défaillant à l'instant $t = 0$.

$M(t) = \Pr(S \text{ est réparé sur l'intervalle } (0, t))$. [20]

❖ Les critères de maintenabilité

Les normes NF X 60-300 et X 60-301 spécifient cinq types de critères de maintenabilité. Le premier est relatif à la surveillance de la maintenance préventive. Il est important de connaître à ce niveau l'accessibilité de la composante, sa démontrabilité et son interchangeabilité. Le deuxième est relatif à la maintenance corrective, plus particulièrement, le temps de recherche de panne ou de défaillance et le temps de diagnostic. Le troisième critère est relatif à l'organisation de la maintenance, pris en compte par la périodicité du préventif, le regroupement à des périodes identiques, l'homogénéité de la fiabilité des composants, la présence d'indicateurs et de compteurs et la complexité des interventions. L'avant-dernier critère est lié à la qualité de la documentation technique. Celui-ci comporte la valeur du contenu, la

disponibilité de la documentation, le mode de transmission et les principes généraux de rédaction et de présentation de la documentation technique. Le dernier critère de maintenabilité est lié au suivi de bien par le fabricant. [15]

II.2.2.3 La Disponibilité

❖ Définition de Disponibilité

La disponibilité est définie comme l'« aptitude d'un dispositif, sous les aspects combinés de sa fiabilité, de sa maintenabilité et de la logistique de maintenance, à remplir ou à être en état de remplir une fonction à un instant donné ou dans un intervalle de temps donné » (cf. NF X 60-503).

Cette définition est très dense et comporte trois parties qui méritent d'être commentées séparément.

Cela confirme qu'il ne faut pas confondre fiabilité et disponibilité, et que la fiabilité est une des trois composantes de la disponibilité (figure II.7).

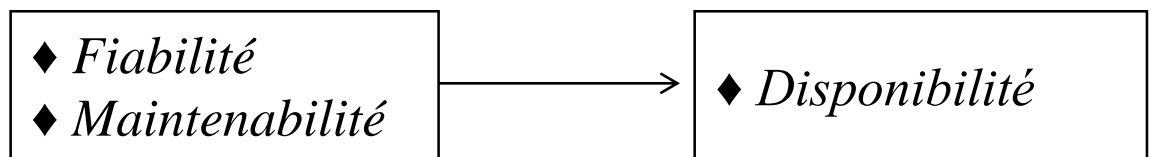


Figure II.10 Composante de la disponibilité

- la fiabilité caractérise l'aptitude d'un matériel à fonctionner sans défaillance pendant un temps donné ;
- la maintenabilité caractérise l'aptitude d'un matériel à être maintenu (maintenance préventive), ou rétabli (maintenance corrective) dans son état de fonctionnement, en un temps donné.

On conçoit alors aisément que plus la fiabilité et la maintenabilité sont élevées (respectivement, moins de défaillances et temps de réparation plus faibles), meilleure sera la disponibilité.

Sous le terme « logistique de maintenance », on désigne l'organisation autour du dispositif, souvent génératrice de temps annexes : attente de pièces de rechange, attente des réparateurs, temps nécessaire à la consignation de certaines installations avant l'intervention, délais administratifs... Ces temps annexes ne modifient pas la maintenabilité des dispositifs (il s'agit d'une caractéristique intrinsèque du matériel), mais s'ajoutent aux temps de réparation, donc diminuent la disponibilité.

« ... à remplir ou à être en état de remplir une fonction ... » On s'intéresse donc à un dispositif opérationnel, c'est-à-dire soit en marche, soit prêt à fonctionner, mais non utilisé.

En effet, un dispositif peut être disponible (opérationnel) sans être en état de fonctionnement ; c'est le cas, par exemple, d'un équipement de production en attente de produits ou d'un dispositif de secours en attente de sollicitation.

Par contre, le dispositif est indisponible lorsqu'il fait l'objet d'opérations de maintenance préventive nécessitant son arrêt. [21]

On notera que, si la maintenance préventive peut être un moyen d'assurer un niveau convenable de fiabilité, trop de maintenance préventive peut conduire à une diminution de la disponibilité. « ... à un instant donné ou dans un intervalle de temps donné ... »

Dans tous les cas, on exprimera la disponibilité par un pourcentage, mais il y a lieu de distinguer la disponibilité instantanée et la disponibilité stationnaire.

On parlera de disponibilité instantanée lorsque l'on s'intéresse à l'état d'un dispositif à un instant donné. La disponibilité instantanée est alors définie comme la probabilité que le dispositif soit opérationnel à un instant donné.

On parlera de disponibilité stationnaire lorsqu'on s'intéresse à l'état « moyen » d'un dispositif dans un intervalle de temps donné. La disponibilité stationnaire est alors définie comme la proportion du temps pendant laquelle le dispositif est opérationnel.

On peut souhaiter pour certains dispositifs qu'ils soient disponibles (donc ni en panne ni en maintenance préventive) à un instant donné ; c'est le cas, par exemple, d'un véhicule de secours ou d'un système d'armes. Il s'agit alors d'une préoccupation de disponibilité instantanée.

Pour d'autres dispositifs, on souhaiterait qu'ils soient disponibles « en permanence » ; c'est le cas, par exemple, d'une installation de production d'énergie ou d'un équipement de production de type « processus continu ». Il s'agit alors d'une préoccupation de disponibilité stationnaire.

Pour les équipements de production dans l'industrie manufacturière, les préoccupations peuvent être différentes selon les organisations de production. [5]

Dans une organisation en flux tendus (juste à temps), on attend du dispositif qu'il soit disponible à l'heure prévue pour le lancement du lot de fabrication. Il s'agit alors d'une préoccupation de disponibilité instantanée.

Dans une organisation en flux poussés (production sur stocks), on attend du dispositif qu'il soit disponible, par exemple, pendant 90 ou 95 % du temps possible de production, les stocks permettant de rendre transparents pour les clients les 5 ou 10 % d'indisponibilité. Il s'agit alors d'une préoccupation de disponibilité stationnaire.

❖ **Disponibilité instantanée et disponibilité stationnaire**

Pour un dispositif ou une machine caractérisé par les paramètres λ et μ , supposés être constants, on montre que la disponibilité instantanée s'exprime par la relation :

$$D(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t} \quad (\text{II. 45})$$

On démontre également que la disponibilité stationnaire, notée D_∞ , est la limite de $D(t)$ quand t tend vers l'infini.

Autrement dit :

♦ La vie du dispositif est une succession de phases : en état de marche (ou opérationnel), en état de panne, en état de marche...

♦ La fréquence des états de panne est en relation avec le paramètre de fiabilité λ , et la durée des états

de panne est en relation avec le paramètre de maintenabilité μ .

♦ $D(t)$ donne la probabilité de trouver le dispositif dans l'état de marche (ou opérationnel) à l'instant.

♦ Sur une période de temps courte, cette probabilité n'est pas la même à chaque instant, mais sur une période de temps très longue (infinie), le dispositif atteint un régime stationnaire dans cette alternance des phases marche/panne, et la probabilité de le trouver en état de marche est alors la même à chaque instant.

♦ Si à chaque instant, la probabilité de le trouver en état de marche est la même, par exemple 90 %, on peut considérer qu'il passe 90 % du temps en état de marche.

♦ La disponibilité stationnaire correspond alors au ratio : temps de marche/temps total.

❖ Expression de la disponibilité stationnaire

Les relations suivantes sont souvent données pour évaluer la disponibilité (sans autre précision) :

$$D = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \quad (\text{II. 46})$$

Ou :

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (\text{II. 47})$$

Dans l'hypothèse où λ et μ sont supposés constants, on notera que les relations (II.46) et (II.47) sont rigoureusement équivalentes, puisque $MTBF = 1/\lambda$ et $MTTR = 1/\mu$.

On remarquera également que la relation (II.47) correspond au premier terme de la relation (II.44), constant quel que soit t (le second terme de la relation (II.46) tend vers zéro quand t tend vers l'infini).

La relation (II.47) correspond donc à la disponibilité stationnaire définie précédemment.

Les relations usuelles (II.46) ou (II.47) ne peuvent alors être utilisées que lorsque l'on s'intéresse à la disponibilité stationnaire.

❖ Disponibilité des systèmes

Nous donnons ci-après quelques cas-type et, pour chacun, la façon d'évaluer la disponibilité.

Rappel du point de vue de la fiabilité :

- On qualifie de « système série » un système tel que la défaillance d'un seul de ses composants entraîne la défaillance du système.
- On qualifie de « système parallèle » un système qui n'est défaillant que lorsque tous ses composants sont défaillants.
- On qualifie de « système mixte » un système constitué de sous-ensembles de type série, mis en parallèle.

➤ Cas des systèmes série

On montre que la disponibilité stationnaire d'un système série constitué de n composants s'exprime par la relation suivante (où $D_{\infty i}$ est la disponibilité stationnaire du composant i) :

$$D_{\infty \text{système}} = \frac{1}{\left[\sum_{i=1}^n \frac{1}{D_{\infty i}} \right] - (n - 1)} \quad (\text{II. 48})$$

➤ Cas des systèmes parallèle

On montre que la disponibilité stationnaire d'un système parallèle constitué de n composants s'exprime par la relation suivante (où $D_{\infty i}$ est la disponibilité stationnaire du composant i) : [10]

$$D_{\infty \text{système}} = \frac{1}{1 + \prod_{i=1}^n (1 - D_{\infty i})} \quad (\text{II. 49})$$

II.2.2.4 La Sécurité

C'est l'aptitude d'un produit à ne pas entraîner de dommages graves aux personnes, à l'environnement ou aux biens. Caractérisé par sa probabilité. La sûreté de fonctionnement regroupe les activités d'évaluation de la Fiabilité, de la Disponibilité, de la Maintenabilité et de la Sécurité (FDMS) d'une organisation, d'un système, d'un produit ou d'un moyen. Ces propriétés sont différentes mais complémentaires. [22]

II.3 Les Méthodes d'analyse prévisionnelle « ABC (Pareto) »

II.3.1 Histogramme de PARETO

Le diagramme de PARETO peut être utilisé pour établir la répartition des causes de défaillances causées par tout l'ensemble du mécanisme de levage et leurs fréquences d'interventions, et de définir les priorités des actions. L'histogramme se construit de la manière suivante :

- ◆ En abscisse, on reporte les causes de défaillances

◆ En ordonnée, on reporte les fréquences d'apparitions des défauts. On peut alors attaquer les défauts par ordre d'importance.

Fréquence d'apparition

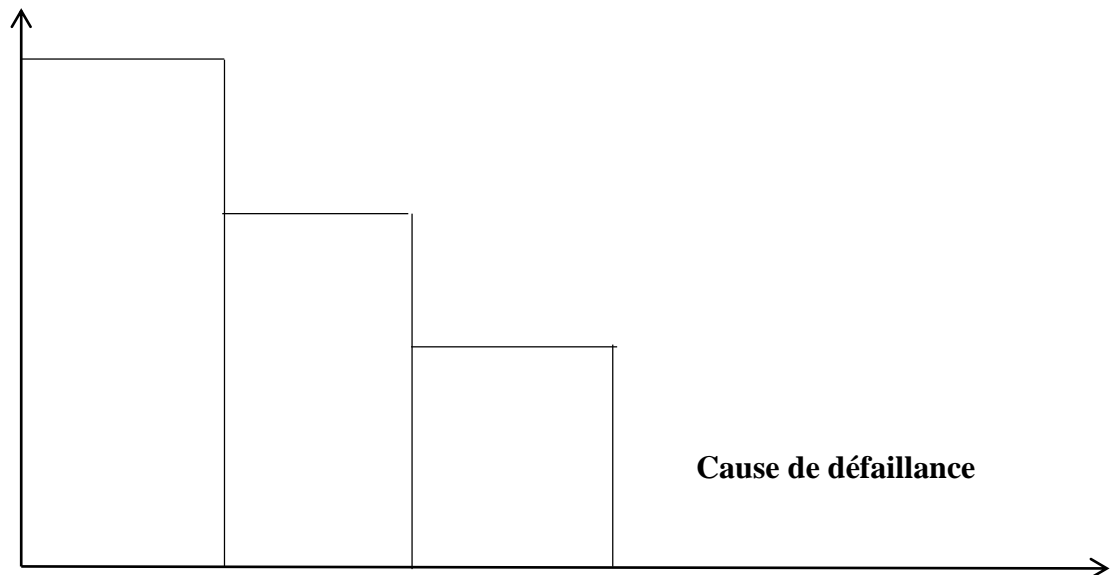


Figure II.11 Histogramme de PARETO

Remarque : nous pouvons aussi établir un diagramme de PARETO pour chaque cause principale

Intérêt de la méthode :

Comme nous voyons, cette analyse permet de ne pas se laisser prendre par des travaux de très faible importance par rapport au volume des autres travaux : l'objectif étant de rentabiliser les actions .

II.3.2 L'analyse ABC

Cette loi est issue des travaux de WILFREDO PARETO, économiste italien (1848 – 1923), elle fait sortir une concordance entre le faible pourcentage du nombre d'événements observés et le fort pourcentage de la variable induite étudiée et qui permet de faire apparaître les éléments représentatifs :

- a. D'une fabrication.
- b. Du produit en stock.
- c. Des clients, des fournisseurs.
- d. Des pannes, des prélèvements.

Alors, c'est un moyen d'analyse qui permet de mettre en évidence, les individus d'une population les plus marqués par le critère qui aura un impact significatif sur l'ensemble du fonctionnement.

Cette façon de procéder permettra de maîtriser petit à petit les différents domaines d'intervention et aidera à mieux planifier les travaux de maintenance corrective ou préventive.

II.3.3 Courbe théorique

Cumul des interventions $\% \sum ti$

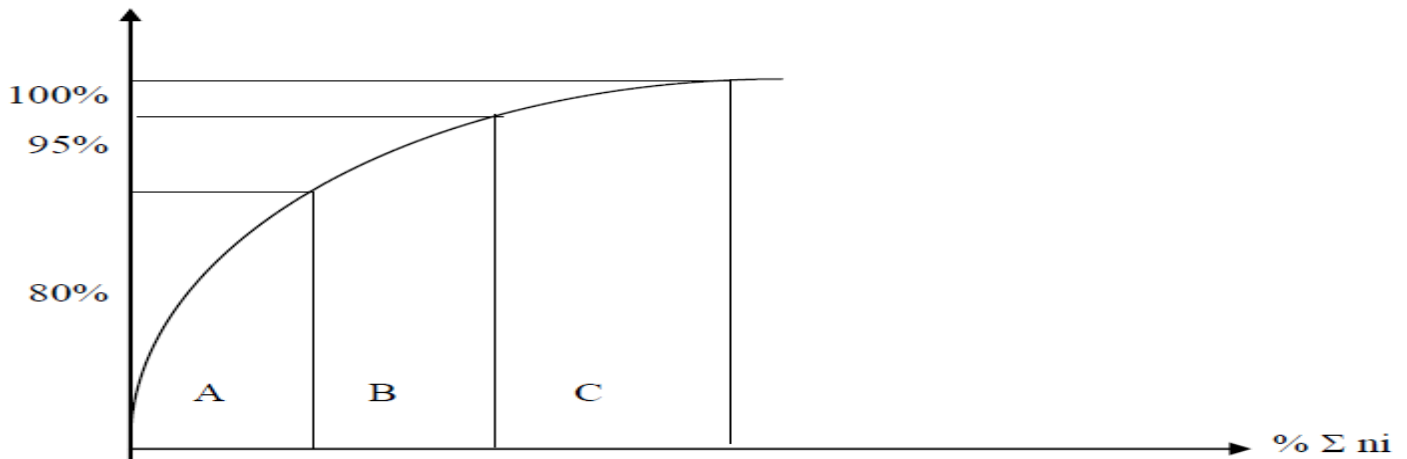


Figure II.12 courbe théorique d'analyse ABC

20% 50% 100% Cumul des pannes

Zone A : (zone de priorité) dans cette zone 20% des pannes représentent 80% des temps d'arrêts.

Zone B : dans cette zone 30% des pannes représentent 15% des temps d'arrêts, c'est la zone la moins importante.

Zone C : dans cette zone 50% des pannes représentent 5% des heures d'arrêt, c'est la zone la moins importante .

Comment constituons-nous le diagramme ABC

- 1 - On classe les pannes par ordre croissant et devant chaque panne sa durée
- 2 - On calcule les cumuls des temps et des pannes
- 3 - On calcule les pourcentages cumulés des temps et des pannes
- 4 - On établit un graphique en abscisse les pourcentages cumulés des pannes et en ordonnées les pourcentages cumulés des temps. [23-5]

II.4 Conclusion

Nous avons consacré à travers ce chapitre les notions de base des paramètres de la sûreté de fonctionnement (fiabilité, maintenabilité, disponibilité et sécurité) et exposée les différentes méthodes de calcul pour estimer ces paramètres. On a expliqué aussi au cours de ce chapitre, la théorie de la méthode ABC et l'histogramme de PARETO. Dans le chapitre suivant, nous allons présenter la société qu'on va faire notre stage.

CHAPITRE III :
PRÉSENTATION DE L'ENTREPRISE

III.1 Introduction

Le but de ce chapitre est de présenter la société algérienne de maintenance des équipements industriels dont on a fait notre stage, et de donner une vue générale de l'organisation interne de cette société. Ce stage facilite de choisir un système de rôle important et de prendre leur historique de panne.

III.2 Représentation de MEI

Maintenance des équipements industriels est une société par actions, créée en 1997 dans l'optique de réunir les principaux corps de métier de la maintenance développés au sein de SONELGAZ, afin de pallier aux différents problèmes de ses unités de production de l'électricité.

La société de maintenance des équipements industriels (MEI / SPA) est une société par action au capital social de 400 000 000,00 DA. Issue de la filialisation des activités périphériques de SONELGAZ, elle est située à 260 Km au sud d'Alger.

Elle se compose d'un ensemble d'ateliers, implantés sur l'ensemble du territoire national, et d'équipes volantes intervenant sur la totalité du pays.

Elle a pour mission de répondre aux besoins de l'industrie en matière de maintenance et de réparation des équipements des centrales électriques et des équipements industriels ainsi que la fabrication et réparation des pièces mécaniques entrant dans le cadre de ses activités.

Avec ses équipes dynamiques, de grande expériences, ses moyens d'intervention parfois exclusif et nombreux avantages économique, MEI garantit à chacun de ses client, la prise en charge personnalisée de sa demande.

Le professionnalisme de ses techniciens, allié à une politique accrue de la direction en faveur d'une diversification des activités et des marchés, a fait de MEI un des leaders nationaux du marché de la maintenance industrielle

Maintenance des équipements industriels dispose des plusieurs workshops, tous complètement équipés en vue de la révision, de la réhabilitation, de la réparation de divers types de machines tournantes : turbines gaz et vapeur, moteurs et générateurs diesel, moteurs électriques, alternateurs...

Pour chacun de ces domaines, MEI dispose de l'infrastructure, de l'expérience et des compétences nécessaires à l'effet de vous offrir des solutions fiables et efficaces pour vos questions de maintenance.

III.2.1 Structure organisationnelle de la société

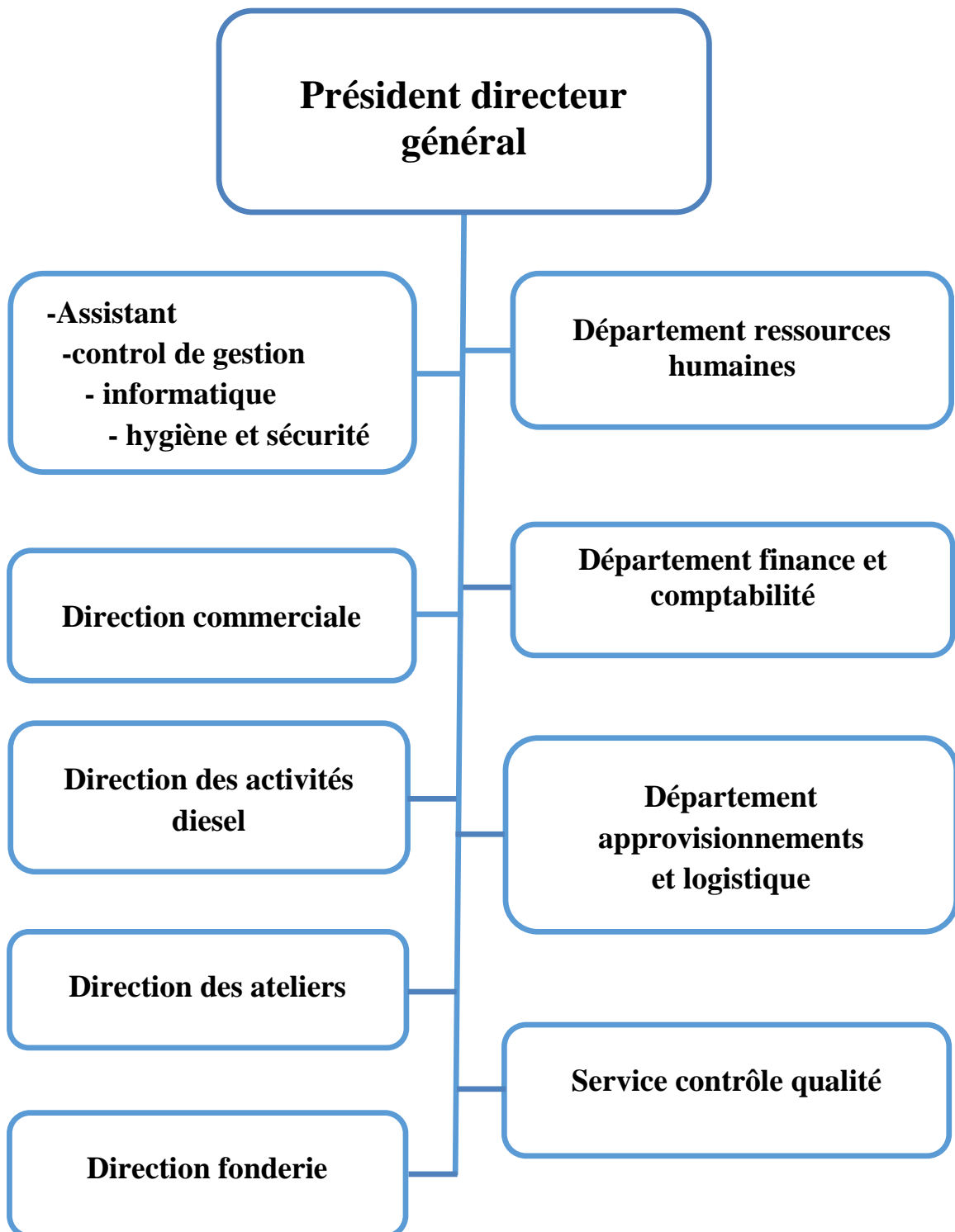


Figure III.1 Organigramme générale de société de la maintenance des équipements industriels

III.2.2 Activités de MEI

Leur compétence et leur savoir-faire s'étendent dans les domaines suivants :

- ❖ La réparation des turbines à gaz et à vapeur.
- ❖ La Maintenance des moteurs et des générateurs Diesel.
- ❖ La remise en état des machines électriques tournantes.
- ❖ La Maintenance mécanique.

Pour chacun de ces domaines, nous disposons de l'infrastructure, de l'expérience et des compétences nécessaires à l'effet de vous offrir des solutions fiables et efficaces pour vos questions de maintenance.

III.2.3 Les Etapes d'Accroissement De La Société MEI/Spa

Année 1984 : Création des ateliers centralisés de SONELGAZ.

Année 1997 : **Phase de création**, MEI s'est constituée en filiale.

Année 1998-2003 : Mise en place des statuts avec un capital social de 10 000 000,00 DA.

Année 2004-2009 : **Phase d'organisation et de grands projets**,

- ✓ Mise en place de l'organisation
- ✓ Augmentation du capital social à 250 MDA
- ✓ Passage à la version 2008 de la certification 9001

Année 2010-2017 : **Phase de développement**,

- ✓ Création d'une unité d'usinage numérique
- ✓ Fusion-absorption d'EURL **ARMEL**, avec augmentation du capital social à 400 000 000 ,00 DA
- ✓ Création d'une fonderie de précision
- ✓ Fusion-Absorption de **SKMK**, avec augmentation du capital social à 475 000 000,00 DA

Année 2018 :

- ✓ Passage du SMQ à la version 9001/2015
- ✓ Actualisation de la stratégie avec restructuration organisationnelle
- ✓ Certification procès de fabrication des premières pièces par General Electric

III.2.4 Infrastructures

1. MEI/Spa compte, à M'Sila un Atelier de réparation mécanique et un atelier Diesel qui constituent une base arrière logistique pour les opérations de maintenance in situ sur les turbomachines et les moteurs Diesel.
2. MEI/Spa compte aussi deux autres ateliers Diesel régionaux sis l'un à Touggourt, l'autre à Béchar lui conférant ainsi la capacité de proximité auprès du client.
3. En Septembre 2012, MEI S'est doté d'un atelier dédiée à la réparation électrique des équipements sis à la zone industrielle d'Es-Senia (Oran).

Les ateliers situés à M'Sila se subdivisent en :

III.2.5 Les Différents Domaines d'Activités de la Société de Maintenance Des Equipements Industrielle (MEI/Spa)

- Rénovation de motrices basses tensions (B.T) et réparation des motrices moyennes tensions (M.T).
- Equilibrage de roues de turbines et de gros moteurs électriques.
- Revêtement, en général et par technique plasma en particulier (stade de mise au point pour démarrage)



Figure III.2 Tour 15 mètre

III.2.6 Département des ressources humaines

Le début était au niveau du département des ressources humaines ; dans ce département on a vu : la présentation du groupe Sonalgaz et de la société **M.E.I/S.P.A** ainsi que le règlement interne de l'entreprise et l'organigramme simplifié présente les plus importantes structures de l'entreprise

III.2.6.1 La DRH

Elle englobe la gestion du personnel telles que :

- La gestion prévisionnelle des emplois et des plans de formation - le recrutement
- paie – déclaration - effectifs- administration personnel- la relation sociale
- La veille réglementaire relative à la légalisation du travail de la santé et de la sécurité du personnel.

Le département des ressources humaines se divise en :

- 1- Subdivision personnel.
- 2- Subdivision formation.
- 3- Subdivision service paie.

III.2.6.2 Assistant HSE

C'est prévu pour HSE, l'assistant HSE il nous donne une explication sur le système de management de HSE, ainsi que sensibiliser pour les dangers qui existent dans notre société (chute d'objet, machine tournantes, produit chimique...), et de préserver notre santé et sécurité personnel et aussi préserver notre environnement, Pour les équipements de protection individuelle sont obligatoire pour le travail dans l'atelier (chaussures et casque sécurité)

Cette structure a pour mission de réduire et de contrôler les risques professionnels au sein de l'entreprise, tels que les accidents du travail, les risques écologiques .elle analyse ces risques, les évalue et préconise des solutions adaptées. Elle est également sollicitée pour étudier les dangers potentiels, les taches effectuées dans cette structure :

-lire et discuter la fiche d'induction HSE qui résume :

- *l'objectif de HSE
- *le risque et les dangers
- *environnement et ségrégation des déchets
- *procédures et règlement de sécurité général
- * réponse aux urgences

- voir les déférentes plaques de HSE
- une tournée dans l'entreprise (ateliers) pour voir les plaques et les dangers
- dans le cas d'une alarme il faut évacue vers le point de rassemblement

III.2.7 Département de finance et comptabilité

La mission principale de ce département est d'assurer la comptabilisation des flux financiers et de produire les documents comptables obligatoires.

Ce divise en deux subdivisions :

- Subdivision exploitations comptable
- Subdivision finance et trésorerie

III.2.8 Département approvisionnement – logistique

Le département responsable des approvisionnements et des achats, il doit fournir aux autres services les matières premières, les matériaux, les fournitures et les matières consommables afin que ceux-ci puissent travailler dans les meilleures conditions. Ce département divise en trois subdivisions :

- Subdivision achat
- Subdivision magasin
- Subdivision parc

III.2.8.1 Direction commerciale

A un rôle de relation clientèle : prospector de nouveaux clients, développer un portefeuille de clients, leur proposer une gamme de produits, négocier des marchés et assurer le suivi des contrats : commandes, réclamations, améliorations souhaitées...

III.2.8.2 Subdivision technico-commercial

- Contient les personnes suivant : Le Chef service technico-commercial, Les ingénieurs d'affaires, Agent de réception et expédition.
- c'est quoi un technico-commercial
- la relation avec les clients et leur type (groupe sonalgaz, hors groupe).
- le code affaire avec des exemples
- 1 ODS (ordre de service) avec explication de chaque case (avec des exemples)
- les deux types de contrat (n° 1 et n° 12) et convention
- les mots clés dans le commercial (délais, couts, qualité) et relation entre eux
- le chiffre d'affaire (budget jusqu'au bilan d'affaire)
- le PV d'entente client
- Processus du traitement d'affaire au niveau de la direction commerciale :
 - 1) Demande de prestation de service par le client soit par (P.V entent client/fournisseur – contrat/convention – commande, bon de commande)
 - 2) Etude de faisabilité prendre en considération exigences client
 - 3) Elaboration l'offre service, les éléments délais

- 4) Contractualisation avec client, et planification de réalisation
- 5) Réalisation des travaux au niveau de direction atelier et diesel
- 6) Fin des travaux, P.V contrôle qualité
- 7) Expédition, Boudreau d'expédition avec client
- 8) Facturation, élément de facturation

III.2.8.3 Subdivision facturation et recouvrement

- Charge de la gestion et le suivi de facturation
- Suivi des recouvrements et des impayés
- Bilan trimestriel, le bilan d'écoute client
- rapprochement avec comptabilité
- l'enregistrement des factures
- L'attache juridique

III.2.9 Direction des activités diesel

C'est une direction très importante dans MEI. Elle participe à peu près de 50 % de la rente de l'entreprise

Divisé en :

- service technique diesel
- ateliers de M'sila
- deux ateliers régionaux situent l'un à BECHAR et l'autre a TOUGGOURT.

Les domaines d'activité de la direction diesel se consiste généralement à :

La rénovation des groupes électrogènes en ateliers par :

- Révision générale (RG)
- Révision partielle (RP)

L'inspection des groupes diesel par l'intervention sur site.



Figure III .3 révision général

III.2.9.1 Service technique diesel

- la gestion et l'enregistrement des affaires
- les composent de dossier affaire (OT, DT, PV.....)
- les documents (bon d'achat, décharge.....)
- le rapport d'expertise
- le PV d'ouverture, PV de réception, PV de réception provisoire.
- la planification de l'affaire
- feuille d'attachement
- rapport de diagnostique

III.2.9.2 Atelier diesel

Un tour dans l'atelier afin de connaitre les déferant stand :

- Les moteurs de groupe (ABC, GE, Fuji, CMI
- Stand. Lavage.
- Stand pistons –bielles.
- Stand électrique.
- Stand turbo compresseur.
- Stand pompes à huile et pompes à eau.
- Stand injection.
- le petite atelier Caterpillar, le kit RG, et kit de sécurité
- un labo qui contient de : tronçonneuse polisseuse, duro-mètre.
- Banc d'essai

Le processus de réparation pour les moteurs diesel

- 1) Réception de groupe diesel
- 2) Démontage de différents éléments
- 3) Lavage des organes de groupe
- 4) Expertise des éléments de groupe
- 5) Réparation des pièces usés ou remplacé par des pièces neuves
- 6) Remontage tous les éléments de groupe
- 7) Contrôle et essais, puis la réception par le client ;

III.2.10 Direction des ateliers

III.2.10.1 Atelier de réparation mécanique

Cet atelier est divisé en deux chaînes de réparation : Mécanique lourde et mécanique légère. L'importance et la multitude des équipements utilisés et le savoir-faire du personnel, permettent de répondre à tous les besoins en matière d'usinage et d'équilibrage de pièces mécaniques



Figure III.4 Atelier de réparation mécanique



Figure III.5 tour 6m

III.2.10.2 Atelier de réparation Diesel

Constitué d'un stand de réparation des groupes électrogènes, d'un stand de réparation et de rénovation des pompes à injection et des sous-ensembles ainsi que d'un banc d'essai pour les moteurs allant jusqu'à 4 MVA. Cet atelier est à même de répondre aux besoins des utilisateurs en matière de diagnostic, de réparation et de rénovation.

En plus d'être doté de quatre vireurs lui permettant de manipuler les groupes lors du démontage, cet atelier est aussi équipé de quatre ponts roulants respectivement de 40 tonnes et de 05 tonnes ainsi que de 03 poutres roulantes de 3 tonnes.



Figure III.6 atelier réparation Diesel

III.2.10.3 Atelier de réparation Electriques

Atelier destiné pour la réparation de tous types de moteurs électriques. Il est équipé d'un vireur de démontage, d'un four de décapage, d'un tour à bobiner, d'un stand pour la préparation des isolants, d'un tour à bobiner programmable, d'un stand d'imprégnation et d'une plateforme d'essais des moteurs avec générateur d'induction.



Figure III.7 réparation de stator



Figure III.8 réparation de rotor

III.2.10.4 Atelier chaudronnerie

Destiné à la réparation des ensembles mécano soudés, il prend en charge aussi tous les travaux de chaudronnerie et de soudage :

- Soudage à l'arc électrique.
- Soudage par point (résistance)
- Soudage TIG
- Soudage MIG
- Soudage oxyacétylénique



Figure III.9 soudage tig

III.2.10.5 Atelier de métallurgie

Composé le four pour l'étamage, le préchauffage la fusion de régule et d'une machine à réguler par centrifugation, cette atelier répand au besoin de réglage de réparation de coussinets turbo-alternateur des groupes TV et TG de diamètre (100 à 2000mm) ainsi que les gros patins des fours de cimenteries.

L'atelier métallurgie comporte aussi :

- Installation (cabine) de sablage et cabine de peinture :

Pour sabler et peindre les moteurs, les coussinets et les déférents pièces mécanique.

- Stand métallisation des paliers :
 - ✓ Rechargement a la baguette.
 - ✓ Rechargement par centrifugation.
 - ✓ Rechargement par coulée statique.

III.2.10.6 Atelier de la Fonderie De Précision

Cette atelier pour économiser sur les charges liées à l'importation de matière brute, et par la même, faire des économies en devises, MEI de par sa fonderie de précision aura complété son process de fabrication à 100 %.

❖ Processus de fabrication de castings par fonderie à la cire perdue :

- Injection cire
- Contrôle cire
- Assemblage grappe

- Enrobage céramique
- Renforcement moule
- Décirage
- Pré-cuisson
- Isolation et renforcement du moule avec de la laine de verre
- Préchauffage
- Coulée
- Décochage
- Tronçonnage
- Traitement thermique
- Finition
- Contrôle final

III.2.10.7 Atelier de fabrication de pièces de rechange

Cet atelier pour la fabrication des pièces de rechange comme les ailettes des turbines à gaz

Dans l'atelier nous trouver l'organisation suivant :

- Poste usinage 5 axes
- Poste EDM
- Poste ECM en cours de montage
- Poste MMT

Les équipements qui nous avons constaté :

- Centre d'usinage à base tournage CTX gamma 2000 TC 5 axes DMG
- Centre d'usinage à base fraisage DMF180 5axes DMG
- machines électroérosion à fil EDM 4 axes
- machines électro-érosionpeçage rapide
- Machine ECM perçage
- Machine ECM 5 axes
- Machine de mesure tridimensionnelle MMT
- ✓ **Les logiciels informatiques :**

Les logiciels qui sont utilisés CFAO (TOPSOLID, SOLIWORKS).

III.2.10.8 Le service contrôle qualité

Ce service est très important dans le processus de maintenance par ce que il approuvé tous les travaux de réparation selon l'exigence de client ou sur une norme spécifique.

Nous avons constaté les types de contrôle non destructif

- ✓ Contrôle Géométrique
- ✓ Contrôle Dimensionnel
- ✓ Contrôle par ressuage « Pénétrant test »
- ✓ Ultra son test
- ✓ Magnétique test
- ✓ Dureté
- ✓ Contrôle de Rugosité

Dans ce service nous avons examiné les instruments de mesure et les équipements suivants :

- ✓ dégraissant, pénétrant rouge, révélateur pour Contrôle par ressuage
- ✓ magnétoscope
- ✓ pied à coulisse digitale
- ✓ dure mètre digitale
- ✓ appareille ultra-son pour control CND
- ✓ micromètre à trois touches
- ✓ Rugosimètre digitale
- ✓ Alésomètre

A la fin de contrôle sur la pièce, si elle est conforme selon l'exigence client ou à la norme le service de contrôle qualité doit établir un P.V de conformité de la pièce, si elle n'est pas conforme alors FNC (fiche de non-conformité).



Figure III.10 CND par Magnétique test



Figure III.11 CND par ressuage

III.3 Description l'aléreuse-fraiseuse Modèle : WD 130A

III.3.1 Description de la version standard de la machine

L'aléreuse-fraiseuse, de par sa conception moderne répond aux impératifs les plus Rigoureux des ateliers modernes tant par son rendement, rigidité et universalité d'emploi que par la commodité et rapidité de sa conduite.

La machine est destinée à percer et à aléser avec précision les trous dont l'espacement exact est obtenu à l'aide d'un projecteur optique. Elle est employée en outre pour les opérations de fraisage avec outils montés dans la broche ou dans l'arbre creux.

Lorsque la machine est équipée d'accessoires facultatifs, elle peut usiner les faces difficilement accessibles et sous différentes pentes. Dans ce but, diverses sortes d'appareilles de fraisage sont prévues. Lorsque la machine est équipée d'un plateau à Surfacier amovible, elle permet de travailler de gros trous et les surfaces cylindriques

ainsi que de dresser les faces autour des alésages de dimensions importantes. D'autres accessoires facultatifs permettant de tailler les filetages en système métrique et anglo-saxon, d'aléser les trous à l'aide des barres d'alésage, d'une lunette, d'une table pivotants, etc.

La machine est destinée avant tout aux travaux sur des pièces de fonderie ou soudées de grand encombrement. En un seul montage peuvent être effectuées plusieurs différentes opérations.

III.3.2 Particularités de la machine

- Grand gamme des vitesses de broche et changement de vitesses même pendant la marche de la machine sans charge.
- Montage très soigné de la broche en acier nitruré offrant les garanties de précision et de longue durée de vie.
- Vitesses d'avance infiniment variables de la broche, du chariot porte-broche et du montant à l'aide de trois servocommandes hydrauliques.
- Montage minutieux de la broche nitrurée, garantissent la précision et une longue durée de vie.
- Avances de la broche, du chariot porte-broche et du montant réglables en continu à l'aide de trois servocommandes hydrauliques.
- Possibilité de déplacement horizontal du chariot porte-broche.
- Lecture numérique des coordonnées pour le déclassement du montant du chariot porte-broche, éventuellement pour la sortie de la broche avec présélection des coordonnées.
- Blocage automatique des ensembles mobiles (ce n'est que l'ensemble devant se déplacer qui est débloqué), réduisant les temps auxiliaires.
- Possibilité de fraisage oblique dans trois plans perpendiculaires sous n'importe quel angle, grâce à la combinaison des mouvements du chariot porte-broche et du montant, ce qui permet de réduire les temps d'usinage surtout pour le fraisage des surfaces d'assise irrégulières etc.
- Télécommande de la machine, concentrée dans un panneau pendentif actionné par moteur, ce qui rend le service rapide et simple.
- Capotage parfait des glissières du banc, permettant d'augmenter la durée de vie.
- Graissage central et par ensembles de tous les mécanismes mobiles et surfaces de glissement,

nécessitant le service minimal.



Figure III.12 l'aléreuse-fraiseuse WD130 A.

III.3.3 Description sommaire des principaux ensembles de la machine

✓ Chariot porte-broche

L'entraînement de la broche est assuré par un électromoteur asynchrone par l'intermédiaire d'un accouplement élastique (encastré dans une roue dentée) et d'une boîte de vitesses à embrayages électromagnétiques et harnais d'engrenages.

Sous une faible charge le moteur peut être couplé en étoile. La charge du moteur peut être contrôlée à l'aide d'un ampèremètre (sur le chariot porte-broche). Le sens de rotation de la broche change par l'inversion de la marche du moteur. Le freinage de la broche est assuré au moyen d'un relais alnico.

Le chariot porte-broche est équilibré par un contre-poids logé dans le montant.

Le réglage des tours de la broche dans la gamme choisie s'effectue par un commutateur du panneau pendentif, permettant le changement de vitesse même si la broche non chargée est en marche.

Le chariot porte-broche peut se déplacer dans le sens vertical et horizontal. La broche nitrurée est montée à coulissements dans les douilles nitrurées de la broche creuse.

Dans le bras, la broche est montée dans un roulement à rouleaux et dans deux butées à billes qui saisissent les forces axiales.

La broche creuse, dont le nombre de tours est égal à celui de la broche de travail, est montée

radialement dans des roulements à rouleaux dont l'avant –type NNK – permet de rattraper complètement le jeu .La charge axiale est absorbée par deux butées de précision.

✓ **Appareil de présélection numérique des coordonnées**

L'appareil de présélection numérique des coordonnées est dans la conception de base de la machine constitué par le système NS 250.L'axe X (déplacement du montant sur le banc)et l'axe Y (course du chariot porte –broche) sont mesurés par le détecteur A323 S qui détecte, par l'intermédiaire d'un pignon ,le chemin parcouru à partir des peignes .L'axe V(sortie de la broche)est déterminé par le détecteur A 323 S avec rallonge pour le raccordement à une vis de transformation de mouvement spécialement enroulée et nitrurée .(En cas d'emploi d'un appareil de mesure pour la coordonnée V ,il n'est pas possible d'installer un dispositif de filetage).L'appareil de mesure est absolu .La grandeur de la coordonnée (ou la longueur de l'avance)indiquée sur le bloc commutateur décadiques est parcourue automatiquement par l'ensemble afférant, après le démarrage du cycle ,et indiquée également sur les tubes numériques.

✓ **Avances**

Les avances du chariot porte-broche (horizontales et verticales) de la broche et du Montant sont variables en contenu en deux gammes. La commande des avances est assurée par trois servocommandes hydrauliques. La sélection de la gamme des avances, le réglage des sens des avances s'effectuent à partir du panneau. (Ce n'est que la sélection du mouvement horizontal du chariot porte-broche ou de la broche qui se fait à l'aide du levier du chariot porte-broche). L'huile sous pression du groupe hydraulique sert également au mécanisme pour le blocage automatique des ensembles mobiles.

✓ **Banc**

Le banc en forme de caisson est pourvu de glissières plate et prismatique. Il est bien nervuré à l'intérieur. Outre les glissières, le banc est muni encore d'un chemin pour les galets allégeant le poids du montant avec le chariot porte-broche. Les glissières sont protégées par des capots autoportants télescopiques. Le banc est de construction robuste qui garantit la rigidité dans n'importe quelle position du montant. Le banc est pourvu de trous pour boulons d'ancrage et de nivellement.

✓ **Montant- trainard de montant**

Le montant est convenablement nervuré et il est solidaire du trainard. La trainard est muni d'un dispositif pour l'allègement des glissières. Quatre galets roulant sur le chemin auxiliaire du banc supportent une partie du poids du montant au cours du déplacement. Les glissières

verticales du chariot porte-broche sont rectifiées précisent. Le montant porte à l'intérieur le contre poids du chariot porte-broche.

Le banc porte une peigne le mouvement du montant et un peigne de mesure.

✓ **Équipement électrique**

Les mouvements de la machine sont télécommandés à partir d'un poste pendentif dont le déplacement est motorisé et dont les divers organes de commande sont répartis en zones de couleur suivant leur appartenance fonctionnelle de sorte que leur manœuvre est rapide et facile à surveiller. A partir du poste pendentif peut également être commandée la table pivotante et par la signalisation lumineuse on peut faire venir le pont roulant.

L'armoire de l'appareillage électrique installé à côté de la machine abrite le disjoncteur principal et les prises de courant pour le branchement de la table pivotante et de la lunette. De là, à l'aide d'un câble fixe sur une chenille est alimentée en courant électrique la boîte de distribution montée sur la paroi arrière du montant.

Dans l'armoire électrique sont rassemblés les contacteurs, relais et unités d'amplification transistorisées pour piloter les servocommandes hydrauliques. Pour faciliter les soins d'entretien, les appareils électriques sont montés sur châssis basculants. Aux extrémités de fin de course du chariot porte-broche, de la broche et le montant interviennent les contacts de sécurité.

III.3.4 Caractéristiques principales de la machine

✓ **Chariot porte-broche**

Diamètre de la broche.....	130mm
Sortie de la broche	1120mm
Course verticale du chariot porte-broche.....	2300mm
Sortie horizontal du chariot porte-broche	450mm
26 vitesses de rotation de la broche et de l'arbre creux	2,8-900 tr/min
➤ Puissance et nombre de tours du moteur de commande de la broche :	
Version de base	18,5 KW - 1455 tr/min
Version spéciale.....	22 KW -1440 tr/min
Couple de torsion max de l'arbre creux.....	8000 N.m

✓ **Avance horizontal du chariot porte-broche**

Déplacement rapide du chariot porte-broche dans le sens horizontal.....	1250mm/min
---	------------

✓ **Avances de la broche dans le sens horizontal et Avances de chariot porte broche**

dans le sens vertical

Déplacement rapide de la broche et du chariot porte-broche.....2500mm/min
 Distance mini de l'axe de la broche à la glissière du ba..... 812 mm
 Puissance et nombre de tours du moteur du groupe hydraulique de commande des avances /50.....7.5Kw – 1455 tr/min

✓ **Montant**

Course du montant sur le banc3200 mm

✓ **Avance du montant**

Déplacement rapide2500 mm/min
 Puissance de tours des moteurs électriques installés :
 *machine avec la puissance standard des moteurs du chariot porte-broche.....28 KW
 * machine avec la puissance accrue du moteurs du chariot porte-broche.....31.5 KW
 Hauteur de la machine.....5280 mm
 Poids de la machine y compris accessoires standard26700 Kg

III.4 Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté les départements et les ateliers de l'entreprise MEI et découvert les nouveaux ateliers (la fonderie, fabrication pièces des rechanges) ainsi que son rôle principal dans la fabrication des profils commercialisables. Notre choix du système est la machine Fraiseuse-Aléuseuse qui a été décrite et extrait leur historique de panne. Dans le chapitre suivant, on va appliquer l'analyse FMD sur la machine Fraiseuse-Aléuseuse pour estimer les paramètres de la sûreté de fonctionnement.

Chapitre IV :

**APPLICATION DE FMD SUR LE SYSTEME
CHOISI ET AMÉLIORATION DE SDF**

IV.1 Introduction

D'après le stage qu'on a fait au sien de l'entreprise MEI, la machine Fraiseuse-Aléuseuse est choisie grâce à son rôle, l'application de l'analyse FMD sur cette machine a pour but d'estimer sa fiabilité, sa maintenabilité et sa disponibilité à partir leur historique des pannes, cette estimation permet de juger l'état de santé de cette dernière.

IV.2 Historique de pannes

D'après l'historique des pannes de la machine aléuseuse-fraiseuse de la société de maintenance des équipements industriels, on résume les temps de réparations dans le tableau IV.1

N °	TYPE DE PANNE	TEMPS DE RÉPARATION (h)
01	Problème de roulement de la tête à banc fixe	3
02	Le relais thermique de l'opération avant /arrière est défaillante	8
03	Défaut de flexible au niveau de l'électrovanne	2
04	Absence de l'axe y, z	8
05	Problème de réglage de poxeutiomètre	8
06	Problème des avances détachement d'un agent	56
07	Défaut de roulement du moteur (axe x)	6
08	Le mandrin est en panne	24
09	Défaut de l'accouplement	8
10	Ressort défaillant	3
11	La broche ne sort pas	2
12	Perte d'huile en niveau de béliet de fraisage	5
13	Bruit anormale coté mandrin	4
14	Défaut mécanique	3
15	Le mandrin ne tient pas la pièce	10

Tableau IV.1 : L'historique des pannes

IV.3 Calcul les paramètres de Weibull

Le tableau suivant (tableau IV.2) comporte les TBF classés par ordre croissant, et la fonction de répartition réelle $F(i)$ calculé par la méthode des rangs moyennes $F(i) = \frac{i-0.3}{N+0.4} \simeq F(t)$ (Dans notre cas $N < 20$) puis on utilisera le papier de Weibull pour tracer la courbe $F(i)$ en fonction de TBF :

I	TBF	$F(i)$	$F(t)$	D_n
1	37	0.0454	0.0649	0.0195
2	170	0.1104	0.1443	0.0339
3	173	0.1753	0.1463	0.0290
4	334	0.2403	0.2575	0.0172
5	416	0.3052	0.3163	0.0111
6	483	0.3701	0.3641	0.0060
7	648	0.4351	0.4779	0.0428
8	664	0.5	0.4884	0.0116
9	782	0.5649	0.5630	0.0019
10	856	0.6299	0.6065	0.0234
11	1100	0.6948	0.7297	0.0349
12	1123	0.7597	0.7397	0.0200
13	1496	0.8247	0.8659	0.0412
14	1512	0.8896	0.8699	0.0197
15	1600	0.9545	0.8903	0.0642

Tableau IV.2 Fonction de réparation réelle et théorique

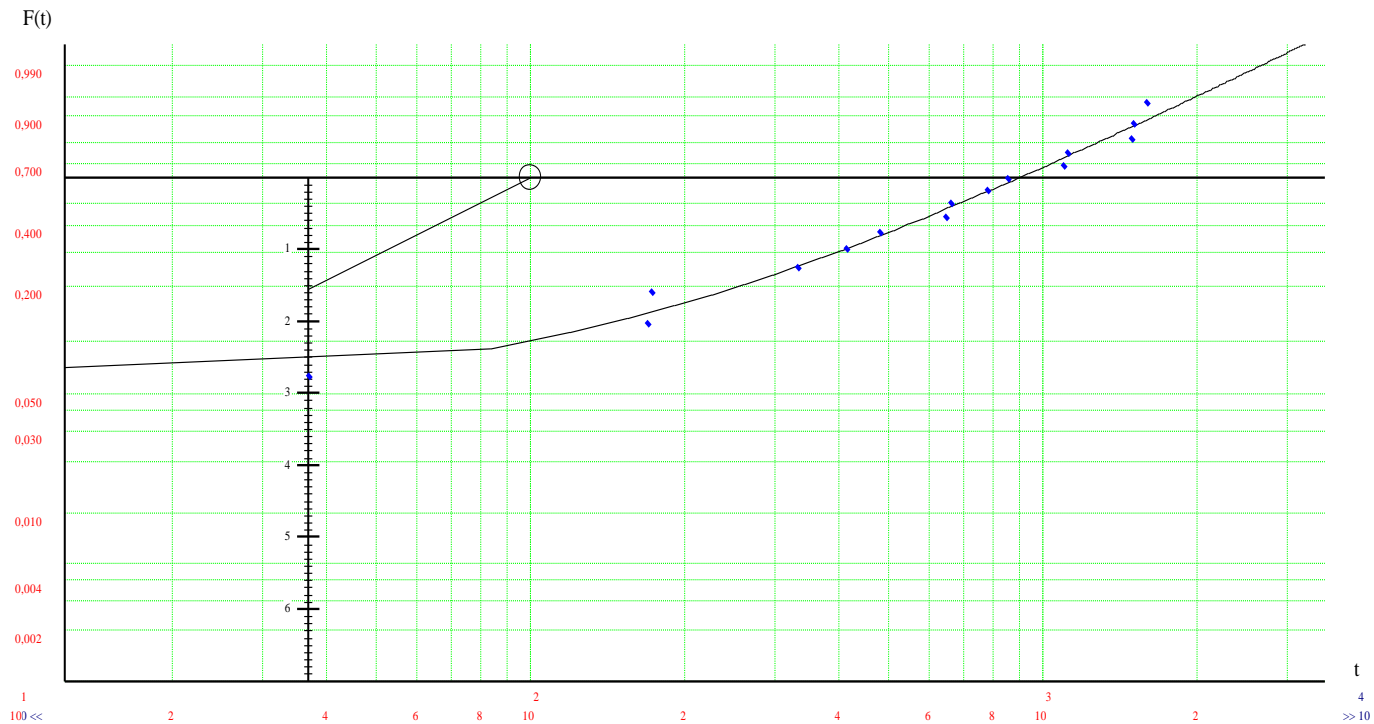


Figure IV.1 Papier de Weibull : résultat de simulation du logiciel FIAB-OPTIM

A partir la courbe illustrée par la Fig. IV.1, et les résultats de logiciel FIAB-OPTIM, on peut extraire les paramètres β , η et γ .

Le tableau suivant (tableau IV.3) montre les paramètres de la méthode Weibull.

Paramètres	Valeur
Beta	1.5570
Eta	1050.3813
Gamma	-148.4126
MTBF	796.3003

Tableau IV.3 les paramètres de la méthode de Weibull

La MTBF :

La moyenne du temps de bon fonctionnement est exprimée par la formule suivante :

$$\begin{aligned}
 \text{MTBF} &= A \eta + \gamma \quad ; \quad \beta = 1.5570 \text{ alors } A = 0.8994 \quad ; \quad (\text{voir l'annexe 3}) \\
 &\quad \eta = 1050.3813 \\
 &\quad \gamma = -148.4126
 \end{aligned}$$

donc:
$$\begin{aligned}
 \text{MTBF} &= (0.8994 \times 1050.3813) + (-148.4126) \\
 &= 796.3003 \text{ h}
 \end{aligned}$$

IV.3.1 Test de KOLMOGOROV SMIRNOV

Avant la validation de toutes les lois de fiabilité, il est nécessaire de tester l'hypothèse pour savoir si nous devons accepter ou rejeter le modèle proposé par le test de Kolmogorov Smirnov avec un seuil de confiance de $\alpha = 0.05$. Ce test consiste à calculer l'écart entre la fonction théorique $F(t)$ et la fonction réelle $F(i)$ puis prendre le maximum en valeur absolue $D_{n.max}$, cette valeur est comparée avec $D_{n.\alpha}$ qui est donnée par la tableau de Kolmogorov Smirnov. D'après le tableau de Kolmogorov Smirnov **:(voir annexe1)**, $D_{n.max} < D_{n.\alpha}$ Ce qui veut dire que le modèle de Weibull est accepté. Nous avons pris la valeur maximale $D_{n.max} = |F(i) - F(t)|$. (IV.1)

$D_{n.max} = F(i) - F(t) $	0.0642
$D_{n.\alpha}$	0.3375

Tableau IV.4 les valeurs de $D_{n.max}$ et de $D_{n.\alpha}$

D'après le tableau (IV .4), on remarque que $D_{n.\alpha}$ est supérieur à $D_{n.max}$ Dans ce cas la loi de Weibull est acceptée à utiliser.

IV.3.2 Étude du modèle de Weibull

A l'aide des temps de bon fonctionnement de la machine Fraiseuse-Aléuseuse et les paramètres extraits par la méthode de Weibull, nous pouvons calculer les fonctions suivantes : la densité de probabilité, le taux de défaillance, la fonction de répartition, la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité.

IV.3.2.1 PRÉSENTATION DE LOGICIEL UTILISÉ

On utilisera un logiciel de simulation qui s'appelle FIABOPTIM est un logiciel destiné à l'analyse numérique et graphique des données de fiabilité. Il permet, à partir des données opérationnelles ou expérimentales, d'estimer la loi de distribution des défaillances, d'estimer les paramètres caractéristiques de ces lois et de calculer ensuite la fiabilité prévisionnelle du système étudié pour les dates désirées. L'interface de ce logiciel est illustrée par la (figure IV.1). Le logiciel opère à partir d'un fichier où sont stockées les données de fiabilité. **(Voir l'annexe 2)**



Figure IV.2 L'interface de logiciel FIAB-OPTIM.

IV.3.2.2 La fonction de la densité de probabilité

On peut définir la fonction de densité de probabilité en fonction des paramètres de méthode de Weibull par la relation suivante :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta}} \quad (\text{IV. 2})$$

$$f(\text{MTBF}) = 0.000598$$

Les résultats de calcul de la densité de probabilité en fonction de TBF et les paramètres de méthode de Weibull de la machine Fraiseuse-Aléreuse sont présentés par le tableau (IV .5) et la figure (IV.3)

N	TBF	f(t)
1	37	0.0004
2	170	0.0006
3	173	0.0006
4	334	0.0007
5	416	0.0007
6	483	0.0008
7	648	0.0007
8	664	0.0007
9	782	0.0006

10	856	0.0006
11	1100	0.0004
12	1123	0.0004
13	1496	0.0003
14	1512	0.0002
15	1600	0.0002

Tableau IV.5 Calcul de la densité de probabilité

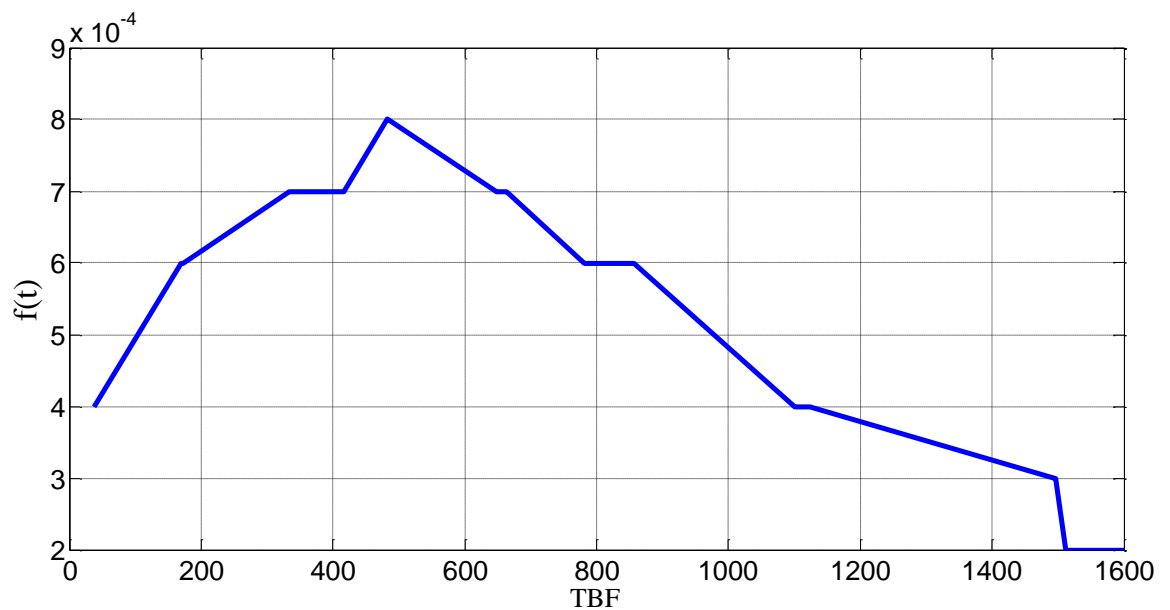


Figure IV.3 la courbe de densité de probabilité

IV.3.2.3 Fonction de répartition F(t)

La fonction de répartition en fonction du temps de bon fonctionnement et les paramètres extraits par le modèle de Weibull est exprimée par l'équation suivante :

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{IV. 3})$$

F(MTBF) = 0.571653

On utilise le tableau précédent (tableau IV.2) pour visualiser la courbe de fonction de répartition. Les résultats de simulation sont illustrés par la figure suivante (Figure IV.4).

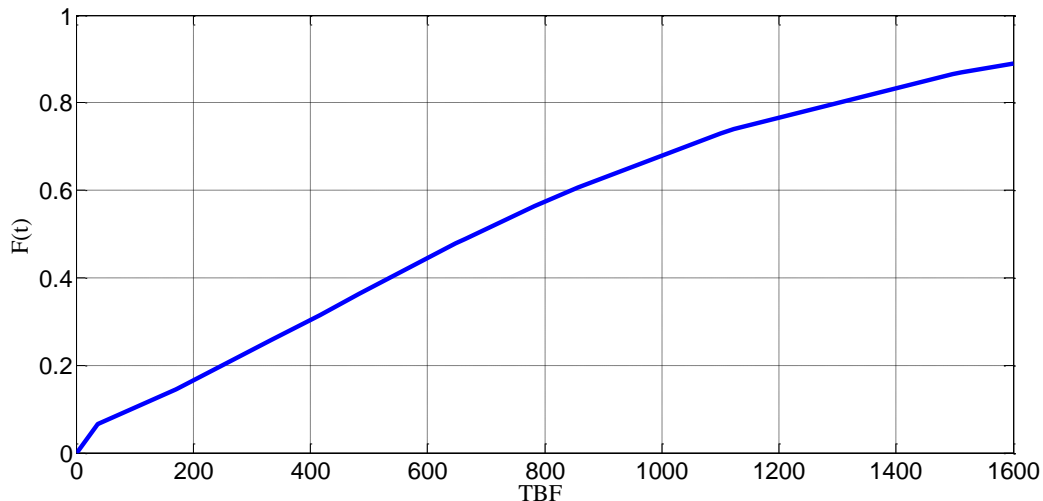


Figure IV.4 La courbe de fonction de répartition

La figure IV.4 illustre la fonction de répartition en fonction du temps de bon fonctionnement, on voit d’après cette courbe que la fonction de répartition augmente avec la croissance du temps de bon fonctionnement.

IV.4 La fiabilité R(t)

La fiabilité en fonction de la fonction de répartition est donnée par l’expression suivante:

$$\mathbf{R(t) = 1-F(t)} \tag{IV.4}$$

Les calculs de la fiabilité en fonction des temps de bon fonctionnement et les paramètres du modèle de Weibull sont effectués par la formule suivante :

$$\mathbf{R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}} \tag{IV.5}$$

R(MTBF) = 0.428346

Les résultats de calculs et de simulation sont montrés par le tableau (IV .6) et la figure (IV .5) :

N	TBF	R(t)
1	37	0.9350
2	170	0.8556
3	173	0.8536
4	334	0.7424
5	416	0.6837
6	483	0.6358

7	648	0.5221
8	664	0.5115
9	782	0.4369
10	856	0.3934
11	1100	0.2702
12	1123	0.2602
13	1496	0.1341
14	1512	0.1300
15	1600	0.1096

Tableau IV.6 Calcul de la fiabilité

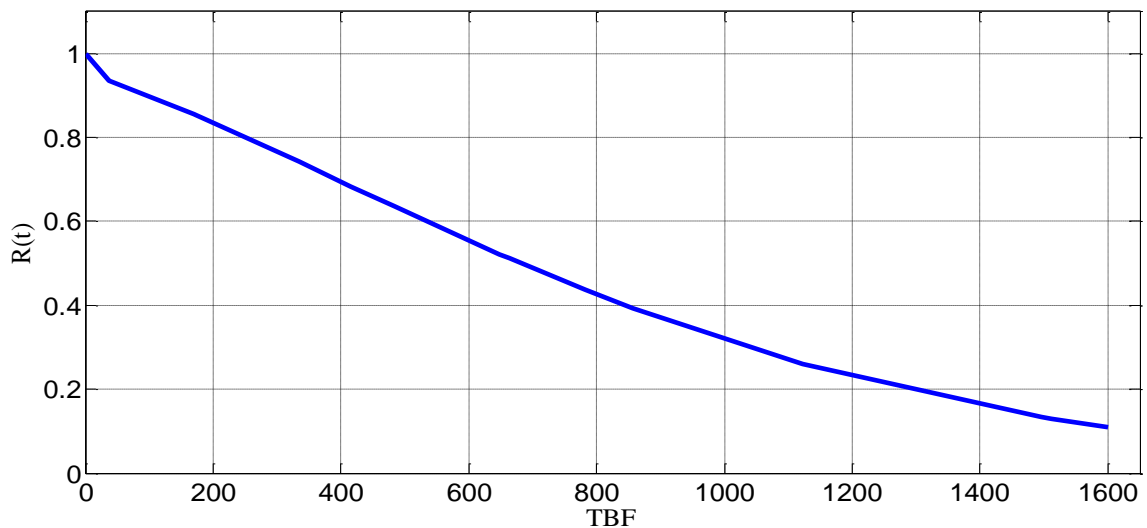


Figure IV.5 La courbe de la fonction de fiabilité

La figure IV.5 montre la fonction de fiabilité $R(t)$ en fonction du temps de bon fonctionnement (TBF), on remarque à partir cette courbe que la fiabilité diminue avec le temps.

IV.5 Le taux de défaillance

Le calcul du taux de défaillance en fonction du temps de bon fonctionnement et les paramètres du modèle de Weibull sont effectués par la formule suivante:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad (\text{IV. 6})$$

$$\lambda(\text{MTBF}) = 0.001397$$

Les résultats de calcul et de simulation sont montrés par le tableau (IV.7) et la figure (IV.6) :

N	TBF	$\lambda(t)$
1	37	0.0005
2	170	0.0007
3	173	0.0007
4	334	0.0009
5	416	0.0010
6	483	0.0012
7	648	0.0013
8	664	0.0013
9	782	0.0014
10	856	0.0014
11	1100	0.0016
12	1123	0.0016
13	1496	0.0019
14	1512	0.0019
15	1600	0.0020

Tableau IV.7 Calcul du taux de défaillance

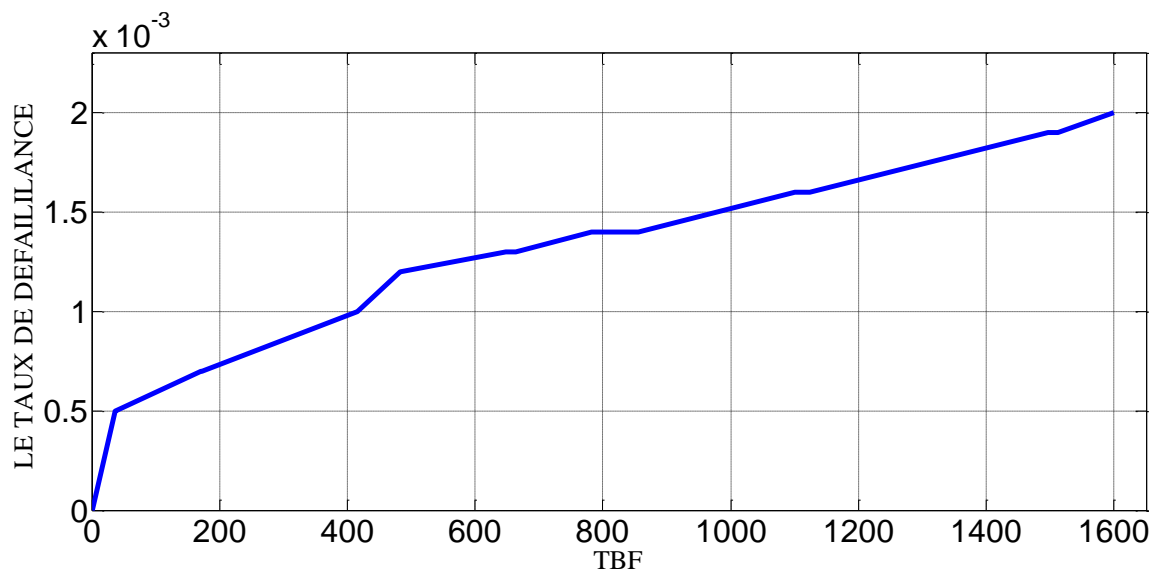


Figure IV.6 La courbe du taux de défaillance

La figure IV.6 présente le taux de défaillance en fonction du temps de bon fonctionnement de la machine Fraiseuse-Aléuseuse. On remarque d'après cette courbe que le taux de défaillance augmente avec le temps.

IV.6 La maintenabilité

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

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad (\text{IV.7})$$

D'après l'historique de panne, on peut calculer la maintenabilité et les résultats de calcul de simulation sont présentés par le tableau(IV.8) et la figure (IV.7). On a aussi la moyenne du temps de réparation exprimé par :

$$\begin{aligned} \text{MTTR} &= \sum \text{TTR} / N && (\text{IV.8}) \\ &= 150 / 15 \\ &= 10 \end{aligned}$$

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

μ : taux de réparation $\mu = 1/\text{MTTR} = 0.1$

N	TTR	M(t)
1	2	0.1813
2	2	0.1813
3	3	0.2592
4	3	0.2592
5	3	0.2592
6	4	0.3297
7	5	0.9949
8	6	0.4512
9	8	0.5507
10	8	0.5507
11	8	0.5507
12	8	0.5507
13	10	0.6321
14	24	0.9093
15	56	0.9963

Tableau IV.8 Calcul de la maintenabilité

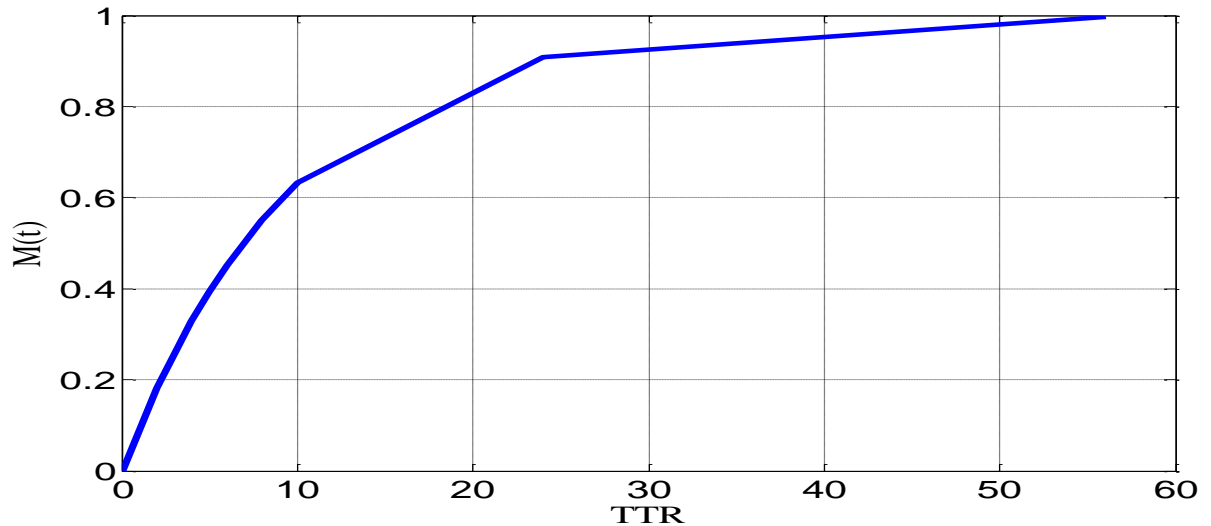


Figure IV.7 La courbe de la maintenabilité

La figure IV.7 montre la maintenabilité en fonction des temps de réparation (TTR), on remarque à partir cette figure que la maintenabilité augmente avec l'augmentation du temps de réparation (TTR).

IV.7 La disponibilité

IV.7.1 La disponibilité intrinsèque théorique

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

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (IV.9)$$

$$D = \frac{796.3003}{796.3003 + 10} = 0.9875 \quad (IV.10)$$

IV.7.2 La disponibilité instantanée

La disponibilité instantanée en fonction du taux de défaillance et du taux de réparation est exprimée comme suit :

$$D(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t} \quad (IV.11)$$

Les résultats de calculs et de simulation sont montrés par le tableau (IV.9) et la figure suivante (Figure IV.8) :

N	TTR	D(t)
1	2	0.9991
2	2	0.9987
3	3	0.9982
4	3	0.9977
5	3	0.9974
6	4	0.9961
7	5	0.9949
8	6	0.9942
9	8	0.9923
10	8	0.9923
11	8	0.9912
12	8	0.9912
13	10	0.9881
14	24	0.9830
15	56	0.9805

Tableau IV.9 de disponibilité instantanée

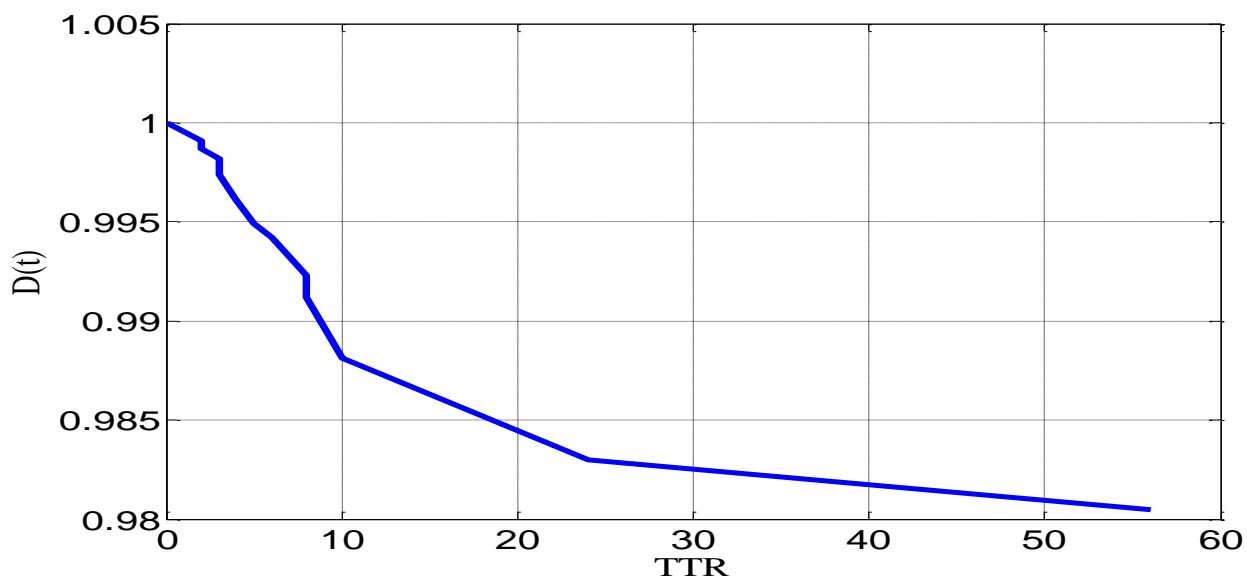


Figure IV.8 La courbe de disponibilité instantanée

La figure IV.8 montre la disponibilité en fonction du temps de réparation. D’après la courbe de cette figure, on voit que la disponibilité diminue avec l’augmentation du temps de réparation.

Enfin, nous pouvons conclure d'après les résultats obtenus que la fiabilité de **Fraiseuse-Aléuseuse** soit réduite, le temps de panne est très élevé et le taux de défaillance est considérable. Pour améliorer la fiabilité, il doit extraire les éléments les plus tombent en panne à partir la courbe ABC puis proposer leurs solutions.

IV.8 Amélioration de la fiabilité par l'application de la maintenance préventive systématique

Calcul du temps de bon fonctionnement souhaitable pour améliorer la fiabilité à 75%

$$R(t) = 75\% \implies t = ?$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \implies \ln R(t) = -\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta = \ln(0.75) \iff -[\ln R(t)] \frac{1}{\beta} = \frac{t}{\eta}$$

$$\implies t = -\eta [\ln R(t)] \frac{1}{\beta} \implies t = 194.0757 \text{ h}$$

Pour évoluer la fiabilité de la machine Fraiseuse-Aléuseuse à 75%, on va utiliser la méthode ABC pour extraire les organes les plus défaillants. Dans la suite, il faut proposer un plan préventif systématique additionnel pour les organes les plus défaillants.

IV.8.1 L'application Pratique des méthodes d'analyse

IV.8.1.1 Méthodes d'analyse prévisionnelle « ABC (Pareto)»

L'objectif de la méthode ABC est de classer les défaillances et extraire les organes les plus défaillants, le tableau (IV.10) et Figure (IV.9) montre les données pour tracer la courbe ABC

IV.8.1.2 La courbe ABC

LES PANNES	TEMPS DE RÉPARATION «TTR »	DE CUMULÉS TEMPS RÉPARATION «TTR »	% CUMULÉS TEMPS DE RÉPARATION «TTR »	FRÉQUENCES DES PANNES	CUMULÉS FRÉQUENCES DES PANNES	%CUMULÉS FRÉQUENCES DES PANNES
06	56	56	37.33	1	1	6.66
08	24	80	53.33	1	2	13.33
15	10	90	60	1	3	20
04	8	98	65.33	1	4	26.66
02	8	106	70.66	1	5	33.33
05	8	114	76	1	6	40
09	8	122	81.33	1	7	46.66
07	6	128	85.33	1	8	53.33

12	5	133	88.66	1	9	60
13	4	137	91.33	1	10	66.66
10	3	140	93.33	1	11	73.33
01	3	143	95.33	1	12	80
14	3	146	97.33	1	13	86.66
03	2	148	98.66	1	14	93.33
11	2	150	100	1	15	100

Tableau IV.10 les données pour tracer la courbe ABC

La figure suivante montre la courbe ABC qui contient trois zones :

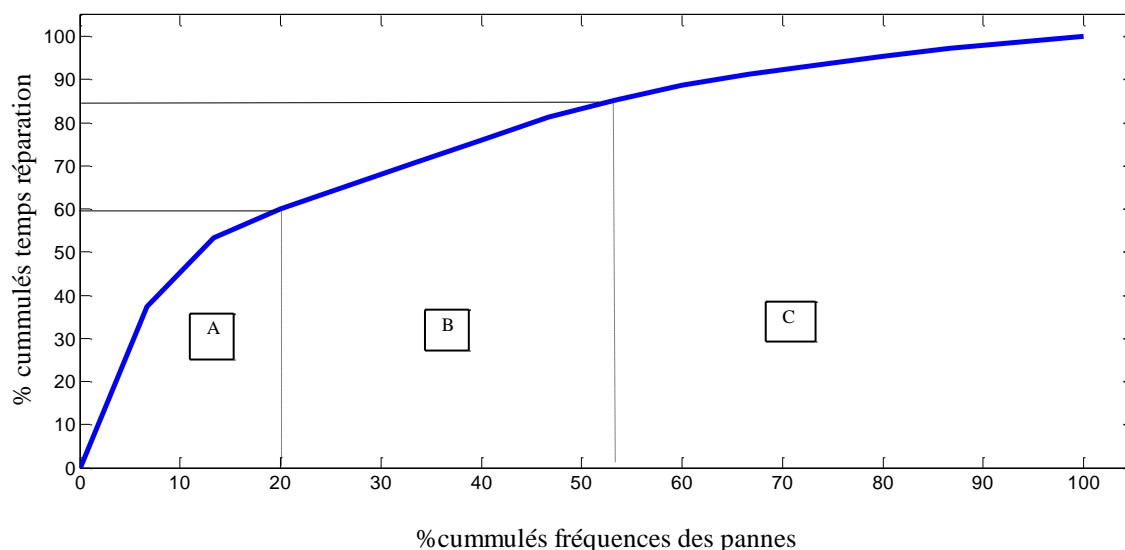


Figure IV.9 La courbe ABC

Interprétation des résultats :

- **Zone "A"** : on voit que d'après cette zone qu'environ de 20 % des pannes représente 60% des temps de réparation, cette zone contient les organes les plus défectueux (problème des avances détachement d'un agent (panne 06), le mandrin est en panne (panne 08), le mandrin ne tient pas la pièce (panne 15)).
- **Zone "B"**: Dans cette zone, les 33.33% des pannes représentent 25.33% des temps de réparation, c'est une zone contient des organes moins de temps de réparation par comparaison avec les organes de la zone A.
- **Zone "C"**: Dans cette zone les 46.67% des pannes restantes représentent 14.67% des temps de réparation.

D'après la courbe ABC, on voit que les organes les plus tombent en panne sont les organes de

la zone A tels que problème des avances détachement d'un agent, le mandrin est en panne, le mandrin ne tient pas la pièce. Pour améliorer la fiabilité de la machine Fraiseuse-Aléuseuse, on va proposer des solutions concernant les organes de la zone A.

IV.9 Proposition des solutions pour les organes les plus défaillants

IV.9.1 Plan de maintenance préventive systématique additionnel

Les opérations de la maintenance préventive systématique sont : contrôle, inspection, vérification, nettoyage, graissage, laver.

Pour réaliser un plan de maintenance préventif systématique pour les trois organes les plus défaillants (problème des avances détachement d'un agent (panne 06), le mandrin est en panne (panne 08), le mandrin ne tient pas la pièce (panne 15)). On résume les interventions préventifs dans le tableau suivant (IV.11) :

	PANNE 06		PANNE 08		PANNE 15	
Janvier	C		C	X	C	X
	V	X	V	X	V	X
	I		I		I	
	G	X	G	X	G	X
	N	X	N	X	N	X
	L		L		L	
Février	C	X	C		C	
	V		V	X	V	X
	I		I	X	I	X
	G	X	G	X	G	X
	N		N		N	
	L	X	L	X	L	X
Mars	C		C	X	C	X
	V	X	V	X	V	X
	I	X	I	X	I	X
	G	X	G	X	G	X
	N		N	X	N	X
	L	X	L	X	L	X
Avril	C	X	C		C	
	V		V	X	V	X
	I		I		I	
	G	X	G	X	G	X
	N	X	N		N	
	L		L		L	
	C		C	X	C	X

Mai	V	x	V	x	V	x
	I		I		I	
	G	x	G	x	G	x
	N		N	x	N	x
	L	x	L		L	
juin	C	x	C	x	C	x
	V		V	x	V	x
	I	x	I	x	I	x
	G	x	G	x	G	x
	N		N	x	N	x
	L		L	x	L	x

Tableau IV.11 plan de maintenance préventive systématique additionnel pour les organes les plus défectueux.

C : contrôle

V : vérification

I : inspection

G : graissage

N : nettoyage

L : laver

En fin, l'application de ce plan sur ces organes va augmenter la durée de vie et la fiabilité de la machine par la réduction de la probabilité de défaillance.

IV.9.2 L'application de la méthode d'ordonnement pour la minimisation du temps de réparation

D'après les pannes de la machine fraiseuse aléseuse, on a vu que le temps de réparation est grand grâce à les opérations de démontage et de montage de cette dernière pour réparer les défauts. A cet effet, on propose la méthode de l'ordonnement pour minimiser le temps de ces opérations d'une part et de réduire le temps de panne d'une autre part.

IV.9.2.1 La méthode d'ordonnement

La **théorie de l'ordonnement** est une branche de la recherche opérationnelle qui s'intéresse au calcul de dates d'exécution optimales de tâches. Pour cela, il est très souvent nécessaire d'affecter en même temps les ressources nécessaires à l'exécution de ces tâches.

Un problème d'ordonnement peut être considéré comme un sous-problème de planification dans lequel il s'agit de décider de l'exécution opérationnelle des tâches planifiées.

❖ Définition

Un problème d'ordonnancement consiste à organiser dans le temps la réalisation des tâches, compte tenu de contraintes temporelles (délais, contraintes d'enchaînement) et de contraintes portant sur la disponibilité des ressources requises.

En production (manufacturière, de biens, de service), on peut le présenter comme un problème où il faut réaliser le déclenchement et le contrôle de l'avancement d'un ensemble de commandes à travers les différents centres composant le système.

Un ordonnancement constitue une solution au problème d'ordonnancement. Il est défini par le planning d'exécution des tâches (« ordre » et « calendrier ») et d'allocation des ressources et vise à satisfaire un ou plusieurs objectifs. Un ordonnancement est très souvent représenté par un diagramme de Gantt.

❖ Les tâches

Une tâche est une entité élémentaire localisée dans le temps par une date de début et/ou de fin, dont la réalisation nécessite une durée, et qui consomme un moyen selon une certaine intensité. Certains modèles intègrent la notion de date due, une date à laquelle la tâche doit être finie; dans ces cas, le retard induit une pénalité.

Selon les problèmes, les tâches peuvent être exécutées par morceaux, ou doivent être exécutées sans interruption ; on parle alors respectivement de problèmes préemptifs et non préemptifs. Lorsque les tâches ne sont soumises à aucune contrainte de cohérence, elles sont dites indépendantes.

Plusieurs tâches peuvent constituer une activité et plusieurs activités peuvent définir un processus.

❖ Les ressources

La ressource est un moyen technique ou humain destiné à être utilisé pour la réalisation d'une tâche et disponible en quantité limitée, sa capacité.

Plusieurs types de ressources sont à distinguer. Une ressource est renouvelable si après avoir été allouée à une ou plusieurs tâches, elle est à nouveau disponible en même quantité (les hommes, les machines, l'équipement en général), la quantité de ressource utilisable à chaque instant est limitée.

Dans le cas contraire, elle est consommable (matières premières, budget) , la consommation globale (ou Cumul) au cours du temps est limitée.

Une ressource est doublement contrainte lorsque son utilisation instantanée et sa consommation globale sont toutes deux limitées (l'argent en est un bon exemple).

Qu'elle soit renouvelable ou consommable, la disponibilité d'une ressource peut varier au cours du temps.

Sa courbe de disponibilité est en général connue a priori, sauf dans les cas où elle dépend du placement de certaines tâches génératrices.

On distingue par ailleurs principalement dans le cas de ressources renouvelables les ressources disjonctives qui ne peuvent exécuter qu'une tâche à la fois (machine-outil, robot manipulateur) et les ressources cumulatives qui peuvent être utilisées par plusieurs tâches simultanément mais en nombre limité (équipe d'ouvriers, poste de travail).

❖ Les contraintes

Les contraintes expriment des restrictions sur les valeurs que peuvent prendre simultanément les variables de décision. On distingue :

- des contraintes temporelles
- les contraintes de temps alloué, issues généralement d'impératifs de gestion et relatives aux dates

limites des tâches (délais de livraison, disponibilité des approvisionnements) ou à la durée totale d'un projet ;

- les contraintes de cohérence technologique, ou contraintes de gammes, qui décrivent des relations d'ordre entre les différentes tâches ;
- des contraintes de ressources
- les contraintes d'utilisation de ressources qui expriment la nature et la quantité des moyens utilisés

par les tâches, ainsi que les caractéristiques d'utilisation de ces moyens ;

- les contraintes de disponibilité des ressources qui précisent la nature et la quantité des moyens disponibles au cours du temps.

Toutes ces contraintes peuvent être formalisées sur la base des distances entre débuts de tâches ou potentiels.

❖ Les objectifs

Dans la résolution d'un problème d'ordonnancement, on peut choisir entre deux grands types de stratégies, visant respectivement à l'optimalité des solutions, ou plus simplement à leur admissibilité.

L'approche par optimisation suppose que les solutions candidates à un problème puissent être ordonnées de manière rationnelle selon un ou plusieurs critères d'évaluation numériques, construits sur la base d'indicateurs de performances.

On cherchera donc à minimiser ou maximiser de tels critères. On note par exemple ceux

- liés au temps :
 - Le temps total d'exécution ou le temps moyen d'achèvement d'un ensemble de tâches
 - le stock d'encours de traitement
 - différents retards (maximum, moyen, somme, nombre, etc.) ou avances par rapport aux dates limites fixées ;
- liés aux ressources :
 - la quantité totale ou pondérée de ressources nécessaires pour réaliser un ensemble de tâches
 - la charge de chaque ressource ;
 - liés à une énergie ou un débit ;
 - liés aux coûts de lancement, de production, de transport, etc., mais aussi aux revenus, aux retours d'investissements.

L'application de cette méthode pour le démontage et montage de la machine Fraiseuse-Aléuseuse va permettre de réduire le temps de ces deux opérations à-peu-près à 50%, ce qui minimise le temps de réparation et progresse la fiabilité de cette machine.

IV.10 Conclusion

D'après l'étude statistique appliquée sur la machine Fraiseuse-Aléuseuse, nous avons calculé les temps de bon fonctionnement (TBF), ensuite ; on a calculé la fonction de répartition réelle pour la tracer sur le papier de Weibull en fonction des temps de bon fonctionnement par l'utilisation du logiciel FIAB-OPTIM et la courbe obtenue permet d'extraire les paramètres de loi de Weibull. L'application du test de KOLMOGOROV SMIRNOV a illustrée que cette loi est acceptée pour estimer la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité. Les résultats de calculs obtenus ont montré que cette machine a une fiabilité réduite pour cela; nous avons tracé la courbe ABC et l'histogramme de Pareto pour connaître les organes les plus défectueux.

Pour optimiser la sûreté de fonctionnement de la machine Fraiseuse-Aléuseuse, les solutions concernant les organes les plus défectueux ont été proposées telles que :

- Un plan de maintenance préventive systématique additionnel pour améliorer la sûreté de fonctionnement de ces organes d'une part et de la machine d'autre part.
- L'application de la méthode d'ordonnement pour démonter et monter cette machine lors de la panne a pour but de minimiser le temps de réparation.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale

La maintenance joue un rôle très important pour progresser la production et le profit économique des industries par la réduction de probabilité de défaillance des systèmes et l'optimisation des paramètres de la sûreté de fonctionnement.

Dans notre mémoire, des généralités et des notions de base sur la maintenance des systèmes électromécaniques ont été montrés, ainsi que les paramètres de la sûreté de fonctionnement ont été expliqués en détail, pour optimiser ces paramètres, nous avons fait un stage pratique au niveau de la société algérienne de maintenance des équipements industriels (MEI) qu'il nous a aidé de choisir un système électromécanique (Fraiseuse-Aléuseuse) et de prendre l'historique de panne de ce dernier.

Cette historique nous a permis de calculer les temps de bon fonctionnement (TBF) de la machine Fraiseuse-Aléuseuse à partir de leurs temps de panne et de leur mode d'emploi, puis la fonction de répartition réelle a été calculée et tracée en fonction des temps de bon fonctionnement sur le papier de Weibull à l'aide de logiciel de simulation FIAB-OPTIM pour extraire les paramètres de la loi de Weibull. Ces paramètres nous ont permis de calculer la fonction de répartition théorique et la loi de Weibull est acceptée par le test KOMOGOROV SMIRNOV pour calculer la fiabilité, le taux de défaillance et la densité de probabilité.

D'après les résultats obtenus, on a vu que la fiabilité de la machine Fraiseuse-Aléuseuse est réduite (égale à 40 %), et pour l'améliorer à une valeur égale à 75%, il doit augmenter la moyenne du temps de bon fonctionnement à une valeur égale à 194.0757 h par la réduction de la moyenne du temps de réparation. Pour atteindre cet objectif, on a appliqué la méthode ABC pour extraire les organes les plus tombent en panne qui sont montrés par la zone A de la courbe ABC (dans notre cas les organes les plus tombent en panne sont problème des avances détachement d'un agent, le mandrin est en panne, le mandrin ne tient pas la pièce), et pour traiter ces problèmes, on a proposé les solutions suivantes :

- Un plan de maintenance préventive systématique additionnel pour améliorer la sûreté de fonctionnement de ces organes d'une part et de la machine d'autre part.
- L'application de la méthode d'ordonnancement pour démonter et monter cette machine lors de la panne a pour but de minimiser le temps de réparation.

Dans les travaux futurs, nous allons implanter une stratégie de maintenance efficace au sien de la société algérienne de maintenance des équipements industriels (MEI) basé sur la maintenance préventive et corrective pour agrandir sa production et son profit économique.

RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUE

Références bibliographiques :

- [1] **TAIBI Omar & MAOUCHE Samir & BENHAMED Aissa**, « Gestion Des Risques, Analyse Et Evaluation Par La Maintenance Intégrée application « Moulins El Hodna M'sila » », Mémoire De Fin D'étude En Vue De L'obtention Du Diplôme D'ingénieur D'état En Génie Electrotechnique, Université de M'sila, 2009/2010.
- [2] **NOUR Aboubakr** «Application de la méthode MBF pour l'amélioration de la disponibilité d'un système électromécanique », mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de master en génie électrique, Université de M'sila, 2011/2012
- [3] **HABECHE Khair-Eddine & MERICHE Zine elabidine**, « Amélioration de la fiabilité d'un système de production par la simulation monte Carlo », Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de master électromécanique, Université de M'sila 2019/ 2020
- [4] **CHIKH Ayache**, « CONTRIBUTION A L'AMELIORATION DE LA FIABILITE PAR L'UTILISATION DES RESEAUX DES FILES D'ATTENTE », mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de master en génie électrique, Université de M'sila 2012/ 2013
- [5] **ANTER LEBIDI**, « Développement de la production d'un système électromécanique par une proposition d'une politique de maintenance efficace » Mémoire de Master en génie électrique, université de M'sila, 2014
- [6] **BEN DJAAFER AHMED**, « Réalisation d'un plan de maintenance préventive systématique pour l'amélioration de la sûreté de fonctionnement d'un système électromécanique » Mémoire de Master en génie électrique, université de M'sila, Juin 2013.
- [7] **TOUAMA El hadj**, « Evaluation des performances de la maintenance des systèmes de production » Mémoire de Master en génie électrique, université de M'sila, Juin 2014.
- [8] **Abdelhadi BENKHELIFA ET Mourad MOHAMMEDI**, « Fiabilité des équipements de D.T.M., analyse fonctionnelle et implications organisationnelles de la fonction maintenance de transport » Mémoire Master, Université kasdi merbah ouargla 2011
- [9] **Negadi Ali**, « la maintenance des Equipements de forage (CAS TP127 HASSI MESSAOUD) » Mémoire de master génie mécanique, université ABDOU BEKR BELKAID-TLEMEN, juin 2014
- [10] **Oustani Mebrouk & Nedjaa Mohammed Mokhtar**, « Etude maintenance préventive d'un turbocompresseur par analyse des huiles » Mémoire de master Génie mécanique, Université Kasdi Merbah - Ouargla juin 2014
- [11] **LLAURENS Jérémy**, « Mise en place d'un plan de maintenance préventive sur un site de production pharmaceutique » Thèse présentée pour l'obtention du titre de docteur en pharmacie diplôme d'état, université Joseph Fourier, faculté de pharmacie de Grenoble, 16 Février 2011.
- [12] <http://www.technologuepro.com/maintenance-industrielle>

Références bibliographiques :

- [13] **Valerie Zille**, « Modélisation et évaluation des stratégies de maintenance complexes sur des systèmes multi-composants » Thèse de Doctorat, l'Université de Technologie de Troyes, 28 janvier 2009
- [14] <http://www.techniques-ingenieur.fr>
- [15] **Jean .B** « la TPM : un système de production » Technologie (SCEREN - CNDP) – Revue Française de gestion Industrielle, Paris, avril 2008.
- [16] **Mehdi JALLOULI** « méthodologie de conception d'architectures de processeur sûres de fonctionnement pour les applications mécatroniques » Thèse de doctorat en électronique, Université Paul Verlaine – Metz, Juin 2009.
- [17] **Cours télécharger**, <http://www.commentçamarchre.org>
- [18] **NICOLAS TERRIER**, « la maintenance», domaine universitaire 38041 Grenoble cedex 9 année 2002.
- [19] **BOUANAKA MOHAMED LARBI**, « contribution à l'amélioration des performances opérationnelles des Machines industrielles » Mémoire de magister, université de Constantine 2008
- [20] **Auteur (s)**,« Titre de la référence », N d'édition, édition, année 2007.
- [21] **Mathieu.G**, « Modélisation des coûts de cycle de vie prévision des coûts de maintenance et de la fiabilité Application à l'aéronautique», Thèse de doctorat d'Ecole centrale de Lyon, 2005.
- [22] **Ingexpert**, « Fiabilisation des équipements » 2005/2006
- [23] **MEBARKIA Djalal**, « Recherche d'une solution optimale d'exploitation et de maintenance des gazoducs algériens tenant compte de la fiabilité des équipements des différentes lignes Devant » 2012/2013

ANNEXE

Annexe 01 : Tableau de loi Kolmogorov-Smirnov

N Taille de l'échantillon	Niveau de signification de D				N Taille de l'échantillon	Niveau de signification de D			
	bilatéral		unilatéral			bilatéral		unilatéral	
	0,05	0,01	0,05	0,01		0,05	0,01	0,05	0,01
5	0,565	0,669	0,509	0,627	24	0,269	0,323	0,242	0,301
6	0,521	0,618	0,468	0,577	25	0,264	0,317	0,238	0,295
7	0,486	0,577	0,436	0,538	26	0,259	0,311	0,233	0,290
8	0,457	0,543	0,410	0,507	27	0,254	0,305	0,229	0,284
9	0,432	0,514	0,388	0,480	28	0,250	0,300	0,225	0,279
10	0,410	0,490	0,369	0,457	29	0,246	0,295	0,221	0,275
11	0,391	0,468	0,352	0,437	30	0,242	0,290	0,18	0,270
12	0,375	0,450	0,338	0,419	31	0,238	0,285	0,214	0,266
13	0,361	0,433	0,326	0,404	32	0,234	0,281	0,211	0,262
14	0,349	0,418	0,314	0,390	33	0,231	0,277	0,208	0,258
15	0,338	0,404	0,304	0,377	34	0,227	0,273	0,205	0,254
16	0,328	0,392	0,295	0,366	35	0,224	0,269	0,202	0,251
17	0,318	0,381	0,286	0,355	36	0,221	0,265	0,199	0,247
18	0,309	0,371	0,279	0,346	37	0,218	0,262	0,197	0,244
19	0,301	0,363	0,271	0,337	38	0,215	0,258	0,194	0,241
20	0,294	0,356	0,265	0,329	39	0,213	0,255	0,192	0,238
21	0,287	0,344	0,259	0,312	40	0,210	0,252	0,189	0,235
22	0,281	0,337	0,253	0,314	>40	1,36/ racine(N)	1,63/ racine(N)	1,22/ racine(N)	1,52/ racine(N)
23	0,275	0,330	0,248	0,307					

Tableau : Tableau d'ajustement de Kolmogorov-Smirnov

Tableau B : Valeurs critiques de $d(n, \alpha)$, pour une taille n de l'échantillon et des niveaux de signification α .

Annex 2 : logiciel FIAB-OPTIM

Définition de logiciel : Le logiciel opère à partir d'un fichier où sont stockées les données de fiabilité. Vous pouvez enregistrer les données que sous format .OFI pour les données individuelles.

Si vos données ne sont pas encore enregistrées, vous devez les saisir à l'aide d'une fenêtre de saisie (bouton Saisie).

Vous pouvez vérifier la saisie des données de type individuelles en cliquant sur le bouton Affichage, et même les corriger à partir de ce tableau.

Dans l'étude individuelle, consiste à choisir une méthode parmi celles proposées en fonction du module choisi.

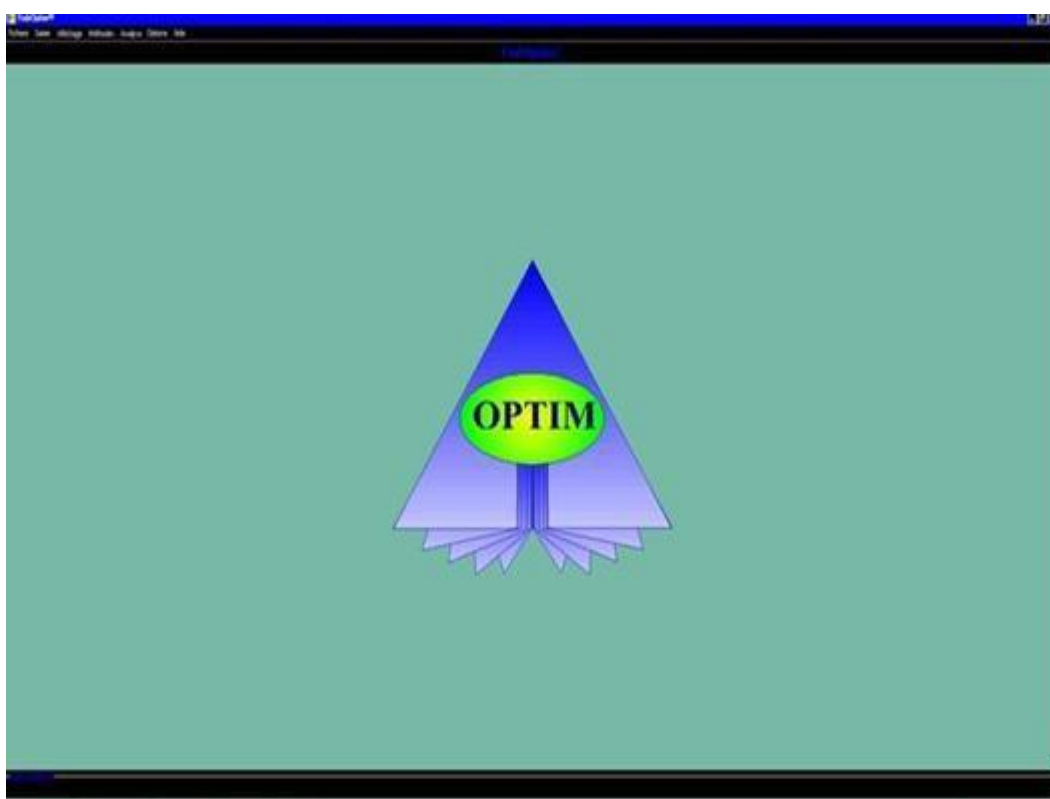


Figure de annexe 2: L'interface de logiciel FIAB-OPTIM

Annex 3 : Distribution de weibull

Valeurs des coefficients A et B en fonction du paramètre de forme

β	A	B	β	A	B	β	A	B
0,20	120	1901	1,50	0,9027	0,613	4	0,9064	0,254
0,25	24	199	1,55	0,8994	0,593	4,1	0,9077	0,249
0,30	9,2605	50,08	1,60	0,8966	0,574	4,2	0,9089	0,244
0,35	5,0291	19,98	1,65	0,8942	0,556	4,3	0,9102	0,239
0,40	3,3234	10,44	1,70	0,8922	0,540	4,4	0,9114	0,235
0,45	2,4786	6,46	1,75	0,8906	0,525	4,5	0,9126	0,230
0,50	2	4,47	1,80	0,8893	0,511	4,6	0,9137	0,226
0,55	1,7024	3,35	1,85	0,8882	0,498	4,7	0,9149	0,222
0,60	1,5046	2,65	1,90	0,8874	0,486	4,8	0,9160	0,218
0,65	1,3663	2,18	1,95	0,8867	0,474	4,9	0,9171	0,214
0,70	1,2638	1,85	2	0,8862	0,463	5	0,9182	0,210
0,75	1,1906	1,61	2,1	0,8857	0,443	5,1	0,9192	0,207
0,80	1,1330	1,43	2,2	0,8856	0,425	5,2	0,9202	0,203
0,85	1,0880	1,29	2,3	0,8859	0,409	5,3	0,9213	0,200
0,90	1,0522	1,17	2,4	0,8865	0,393	5,4	0,9222	0,197
0,95	1,0234	1,08	2,5	0,8873	0,380	5,5	0,9232	0,194
1	1	1	2,6	0,8882	0,367	5,6	0,9241	0,191
1,05	0,9603	0,934	2,7	0,8893	0,355	5,7	0,9251	0,188
1,10	0,9649	0,878	2,8	0,8905	0,344	5,8	0,9260	0,185
1,15	0,9517	0,830	2,9	0,8917	0,334	5,9	0,9269	0,183
1,20	0,9407	0,787	3	0,8930	0,325	6	0,9277	0,180
1,25	0,9314	0,750	3,1	0,8943	0,316	6,1	0,9286	0,177
1,30	0,9236	0,716	3,2	0,8957	0,307	6,2	0,9294	0,175
1,35	0,9170	0,687	3,3	0,8970	0,299	6,3	0,9302	0,172
1,40	0,9114	0,660	3,4	0,8984	0,292	6,4	0,9310	0,170
1,45	0,9067	0,635	3,5	0,8997	0,285	6,5	0,9318	0,168
			3,6	0,9011	0,278	6,6	0,9325	0,166
			3,7	0,9025	0,272	6,7	0,9333	0,163
			3,8	0,9038	0,266	6,8	0,9340	0,161
			3,9	0,9051	0,260	6,9	0,9347	0,160

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLOME
DE MASTER EN GENIE ELECTRIQUE**

**SPECIALITE : INGENIERIE DES MAINTENANCE DES
EQUIPEMENTS INDUSTRIELS**

Proposé et dirigé par : Dr. GHEMARI zine

Présenté par : BELIL FARID ET BELIEL YUCEF

Thème :

**OPTIMISATION DES PARAMÈTRES DE LA SURÉTÉ DE
FONCTIONNEMENT D'UN SYSTÈME ÉLECTROMÉCANIQUE**

Résumé :

Dans ce travail, nous avons extrait les TBF de la machine Aléseuse Fraiseuse, ensuite on a calculé la fonction de répartition réelle et théorique a pour but de choisir la méthode convenable pour estimer la fiabilité de cette machine, la disponibilité et la maintenabilité ont été chiffré. Pour améliorer la fiabilité à la valeur de 75%, nous avons proposé d'augmenter la moyenne de temps de bon fonctionnement de la machine et minimiser leur temps d'arrêt par l'utilisation des opérations de la maintenance préventive systématique.

Mots clés :

Maintenance, fiabilité, sécurité, sureté.

No d'ordre: 05

ملخص:

في هذا العمل قمنا باستخراج TBF لآلة Fraiseuse-Aléseuse، ثم قمنا بحساب دالة التوزيع الحقيقي والنظري وذلك من اجل اختيار الطريقة المناسبة لتقدير موثوقية هذه الآلة وكذلك تحديد تكلفة التوفر وقابلية الصيانة. لتحسين الموثوقية الى قيمة 75%، اقترحنا زيادة متوسط وقت التشغيل الآلة وتقليل وقت تعطلها من خلال استخدام خطة صيانة وقائية منهجية اضافية.

الصيانة، الموثوقية، الأمن، السلامة : الكلمات المفتاحية