

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

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

**FACULTE : TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT : GENIE
ELECTRIQUE
N° :.....**



**جامعة محمد بوضياف - المسيلة
Université Mohamed Boudiaf - M'sila**

**DOMAINE : SCIENCES ET
TECHNOLOGIES
FILIERE GENIE ELECTRIQUE
OPTION : Maintenance des
équipements Industrielle**

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Professionnel**

THEME

**Amélioration des Performances de la
Maintenance d'un Système de Production**

Dirigé par :

Dr. Mabrouk DEFDAF

Présenté par :

- Salah AHMED

-Aljammal MAHDEE

Année universitaire : 2019/2020

Remerciements

Nous remercions avant tout notre seigneur le tout puissant, le miséricordieux de nous avoir donnés la capacité, la volonté et la force afin de mener à bien ce projet de fin d'étude.

Nous souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.

Ces remerciements vont tout d'abord à Notre encadreur Pour sa disponibilité tout en long de la réalisation de ce Mémoire, Ainsi pour son inspiration, aide et son suivi.

Nos remerciements iront également vers tous ceux qui ont accepté avec bienveillance de participer au jury de ce mémoire. et à tous les employés de l'Université de Mohamed Boudiaf de M'sila.

Un grand merci à tous les enseignants qui ont contribués à nos formation depuis l'école primaire jusqu'aux études universitaires.

DEDICACE

A ma Chère Mère

A mon Père

*Dont le mérite, les sacrifices et les qualités
humaines*

m'ont permis de vivre ce jour.

A mes Frères et mes sœurs

A tous les gens m'aiment

(SALAH AHMED)

DEDICACE

Au meilleur des pères

MOHAMMED

A ma très chère maman

RANDAH

A ma chère femme Khadija

Qu'ils trouvent en moi la source de

leur fierté A qui je dois tout

A mes sœurs BDOR, KAWKEB ,NASSEM,AMINAH

et mes frères

ADEL,BANDER,BADR,NASSER

A qui je souhaite un avenir radieux plein de

réussite

A mes Amis

A tous ceux qui me sont chers

(ALJAMMAL MAHDEE)

Sommaire

SOMMAIRE	
INTRODUCTION GÉNÉRALE	
<u>CHAPITRE I</u> Généralités de la maintenance	
I.1. Introduction	1
I.2. Définition de la maintenance.....	1
I.2.1. Le rôle de la maintenance.....	1
I.2.2. Objectifs de la maintenance	1
I.2.3. Les niveaux de maintenance.....	2
I.2.4. Le but de la maintenance	3
I.2.5. Types de maintenance.....	3
I.2.6. Les opérations de maintenance.....	5
I.3. Conclusion	6
<u>CHAPITRE II</u> Sûreté de fonctionnement	
II.1. Introduction	8
II.2. la sûreté de fonctionnement.....	8
II.2.1 Évolution historique de sûreté de fonctionnement.....	8
II.2.2. Eléments constatifs de SDF.....	10
II.2.2.1. La Fiabilité.....	10
II.2.2.1.1. Fiabilité des systèmes.....	10
II.2.2.1.2.Fiabilité et taux de défaillance d'un composant élémentaire	10
II.2.2.1.3. MTTF.....	14
II.2.2.1.4. type des Fiabilité des systèmes	14
II.2.2.1.4.1.composants en série.....	15
II.2.2.1.4.2. Composants en parallèle.....	15
II.2.2.1.5. Les principales lois.....	15
II.2.2.5.1. Loi exponentielle.....	16
II.2.2.5.2. Loi de Weibull.....	16
II.2.2.5.3. Loi normale.....	17
II.2.2.5.4. Loi log-normale.....	17

Sommaire

II.2.2.5.5. Loi Gamma.....	18
II.2.2.5.6. Loi Bêta.....	18
II.2.2.5.7. Loi uniforme.....	18
II.2.2.5.8. La loi de Birnbaum – Saunders.....	18
II.2.2.1.6. Relation entre la maintenance et la fiabilité.....	19
II.2.2.2. La Maintenabilité.....	20
II.2.2.2.1. Définition.....	20
II.2.2.2.2. Les critères de maintenabilité	20
II.2.2.3. La Disponibilité	20
II.2.2.3.1. définition de Disponibilité.....	20
II.2.2.3.2. Disponibilité instantanée et disponibilité stationnaire...	22
II.2.2.3.3. Expression de la disponibilité stationnaire.....	23
II.2.2.3.4. Disponibilité des systèmes.....	23
II.2.2.3.4.1. Cas des systèmes série.....	23
II.2.2.3.4.2. Cas des systèmes parallèle.....	23
II.2.2.4. La Sécurité	24
II.3. Les Méthodes d'analyse prévisionnelle « ABC (Pareto) »	24
II.3.1. Histogramme de PARETO.....	24
II.3.2. L'analyse ABC.....	25
II.3.3. Courbe théorique.....	25
II.4.La METHODE ISHIKAWA	26
II.4.1.Présentation.....	26
II.4.2. Mise en pratique.....	27
II.5.Arbre de défaillances «AdD» (FaultTree « FT » en anglais).....	28
II.5.1.Définition.....	28
II.5.2.Formalisme	28
II.5.3. Modélisation	28
II.5.4. Méthodologie.....	28
II.6. Généralités et description de l'arbre de défaillance	29
II.6.1. Introduction	29
II.6.2. Utilités des arbres de défaillances.....	29
II.6.3. Représentation de la méthode de l'arbre de défaillances.....	29
II.7. Conclusion	30
CHAPITRE III	Analyse FMD ET AMDEC
III.1.INTRODUCTION	32

Sommaire

III.2.Les concepts de base du sureté de fonctionnement (sdf) (la presse 1600T).....	32
III.2.1.Application de modèle de Weibull.....	32
III.2.2. Interprétation des courbes.....	39
III.2.3 Maintenabilité intrinsèque.....	40
III.2.3.1 Interprétation de la courbe de maintenabilité.....	41
III.2.4 La disponibilité.....	41
III.2.4.1 Définition de la disponibilité.....	42
III.2.4.2 Les sortes de la disponibilité.....	42
III.2.4.3 Analyse numérique.....	42
III.2.5. Interprétation de la courbe de disponibilité.....	44
III.3.1.description de la presse	44
III.3.Etude technique de la presse.....	44
III.3.2.Constituants de la presse 1600T.....	45
III.3.3.1. Four a billette	47
III.3.3.Quelque définition sur les équipements de la presse.....	47
III.3.3.1.1. La Composition	47
III.3.3.2.Cisaille à chaud de billettes	47
III.3.3.2.1.La composition	47
III.3.3.3.Tracteur de filage	47
III.3.3.3.1.La composition	47
III.4.Historique des pannes des 5 équipements.....	47
III.5.Cumule des pannes	47
III.6.Analyse des modes défaillance leur effet et leur criticité AMDEC	48
III.6.1.Principe de la méthode (AMDEC).....	48
III.6.1.1.Analyse fonctionnelle	49
III.6.1.2.Analyse des défaillances.....	49
III.6.1.3.Recensement des modes de défaillance.....	50
III.6.1.4.Recherche des causes de défaillance.....	50
III.6.1.5.Hiérarchisation des défaillances.....	50
III.7.But de l'AMDEC	50

Sommaire

III.7.1.Recensement et définition des fonctions	50
III.7.2.Analyse des défaillances par	50
III.7.3.Hiérarchisation des défaillances avec la cotation de la criticité	50
III.8.Types d'AMDEC	52
III.8.1.AMDEC produit	52
III.8.2. AMDEC Processus.....	52
III.8.3. AMDEC Moyen de production	52
III.9.Terminologie	52
III.9.1.Mode de défaillance	52
III.9.2.Défaillance.....	52
III.9.3.Effet de la défaillance.....	52
III.9.4.Criticité.....	52
III.10.Caractéristiques essentielles de l'AMDEC	52
III.11.L'indice de criticité	53
III.12.Définition des actions correctives.....	55
III.13.1. AMDEC prévisionnelle.....	55
III.13.Cas d'application	55
III.13.2. AMDEC opérationnelle	55
III.14.Conclusion de l'étude AMDEC.....	55
III.15.Exemple d'une fiche AMDEC.....	56
III.15.1.Tableau AMDEC de la presse 1600T.....	57
III.15.2.Choix de la politique de maintenance	60
III.16.Conclusion	60
Conclusion générale	62
Références et Bibliographie	

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I

Figure (I.1) : Organigramme de différentes méthodes de la maintenance

CHAPITRE II

Figure (II.1) : Exemple de densité de probabilité

Figure (II.2) : Exemple de fonction de réparation

Figure (II.3) : Taux de défaillance en fonction du temps

Figure (II.4) : Système avec n composants en séries

Figure (II.5) : Système avec n composants en parallèles

Figure (II.6) : L'impacte de la maintenance sur la fiabilité des équipements

Figure (II.7) : Composante de la disponibilité

Figure (II.8) : Histogramme de PARETO

Figure (II.9) : Courbe théorique d'analyse ABC

Figure(II.10) : Diagramme Cause Effet

CHAPITRE III

Figure(III.1) : Logiciel Log-LAALA

Figure(III.2) : Courbe de densité de probabilité

Figure(III.3) : courbe de fonction de répartition

Figure(III.4) : Courbe de taux de défaillance

Figure(III.5) : courbe de fonction de fiabilité

Figure(III.6) : Courbe de maintenabilité

Figure(III.7) : Courbe de disponibilité

Figure (III.8) : Représente le système choisi la presse 1600T

Figure (III.9) : Histogramme des taux d'arrêts

Figure (III.10) : Diagramme de criticité

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I

Tableau (I.1) : Les ressources nécessaires pour chaque niveau de maintenance

CHAPITRE III

Tableau(III.1) : Les temps d'arrêt de la presse 1600T

Tableau(III.2) : Application du modèle de Weibull

Tableau(III.3) : Test de Kolmogorov Smirnov

Tableau(III.4) : Étude de modèle de Weibull

Tableau(III.5) : Tableau de maintenabilité

Tableau(III.6) : Tableau de la disponibilité

Tableau (III.7) : Taux d'arrêts de la presse 1600T

Tableau (III.8) : Indice de fréquence F

Tableau (III.9) : Indice de gravité G

Tableau (III.10) : Indice de non détection D

Tableau (III.11) : Tableau de criticité

Tableau (III.12) : Feuille d'analyse AMDEC

LISTE DES SYMBOLES ET ABREVIATIONS

MTBF	Moyenne de temps de bon fonctionnement
MTTR	Moyenne de temps de réparation
R (t)	Fonction de fiabilité
F (t)	Fonction de défaillance
f (t)	Densité de probabilité
D	Disponibilité
λ (t)	Taux de défaillance
μ	Taux de réparation
γ	Paramètre de position
η	Paramètre d'échelle
β	Paramètre de forme
Γ	Paramètre de position
a et b	Nombre réel
FMD	Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité
M(t)	Fonction maintenabilité
ABC	méthode de Pareto (priorité d'actions)
ni	cumuler les avaries
C	La criticité

Sommaire

F La fréquence d'apparition

G La Gravité

D Le risque de non détection

AMDEC analyse des modes de défaillances, de leurs effets et de leur criticité

Introduction générale

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

Avant 1900, on parle de réparation , dans la période de 1900 à 1970 ; on utilise la notion d'entretien, avec le développement des chemins de fer, de l'automobile, de l'aviation, et l'armement pendant les deux guerres mondial.

A partir de 1970, les développements des secteurs à risques et d'outils modernes aboutissent à la mise en œuvre de la maintenance.

Le souci de toute entreprise est d'assurer sa fonction continuellement avec une meilleure qualité , un coût minimal et un maximum de sécurité pour atteindre cette perspective, les sociétés possèdent des services de maintenance.

La maintenance est donc 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.

Le rôle de service de maintenance est de choisir une politique de maintenance adéquate on prenant en considération l'aspect technique, économique et financier , des différents méthodes en vue d'optimiser la disponibilité des matériels . pour cela l'ingénieur utilise des méthodes et des outils mathématiques afin de calculer et d'évaluer les critères de maintenance (Fiabilité, Maintenabilité , Disponibilité) qui permet de prendre des décision. [1]

Pour minimiser l'impact de ces arrêts sur la production et traiter rapidement les problèmes des arrêts accidentels de la machine de production qui sont considérés comme une source de perturbation et de perte de productivité, les actives de maintenance doivent être intégrées à la gestion de production.

Notre travail sera basé sur l'amélioration de la fiabilité d'une machine importante dans l'entreprise **Algal plus(+)** (la presse 1600T) par une proposition d'un ensemble des solutions concernant les éléments le plus tomber en panne et par suggestion d'un plan objectifs ; on segmente notre travail en trois chapitres, qui sont organisé comme suite :

Le première chapitre est consacré à l'étude théorique de la maintenance , définition générale , classification de maintenance ,les niveaux et les opérations de la maintenance.

Dans le deuxième chapitre est consacré à l'étude de la SDF dans la maintenance , les éléments constatifs de SDF et la méthode d'analyse prévisionnelle (ABC) .

Introduction générale

Dans la troisième chapitre nous effectuerons l'analyse FMD par l'exploitation de l'historique de panne d'usine et la définition de la machine choisie ; puis on utilise le **logiciel LOG-LAALA** pour obtenir les courbes de différentes performances de maintenance (Fiabilité ,Maintenabilité, Disponibilité).

Aussi dans le dernier chapitre sera essentiellement consacré à l'analyse **AMDEC** de la machine (presse 1600T).

Enfin on clôture notre travail par une conclusion générale.

Chapitre I

Généralités de la maintenance

I.1. Introduction :

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

Dans ce chapitre, nous allons tout d'abord rappeler quelques notions et généralités sur la Maintenance ; définition, rôle, objectifs, et type de maintenance.

I.2. Définition de la maintenance :

D'après la norme AFNOR X60-010, la maintenance est définie comme « l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé ».

La maintenance est un ensemble des travaux destinés à soutenir l'aptitude au travail au la réparation d'un matériel pendant son utilisation, son stockage, ou son transport.

Conserver l'état de la machine;

Assurer la qualité de la production avec un coût global optimal.

I.2.1. Le rôle de la maintenance :

La maintenance doit assure la rentabilité des investissements matériels de l'entreprise, en maintenance le potentiel d'activités et en tenant compte de la politique défini par l'entreprise.

I.2.2. Objectifs de la maintenance :

Assurer le maintien (disponibilité) des équipements de production et diminuer les pannes car ces dernières occasionne :

- Coûts de maintenance (intervention)
- Coûts d'indisponibilité (non production)
- Problèmes de sécurité (biens et personnes)

La maintenance intègre également :

- Amélioration de la sécurité des biens et des personnes,
- Intégration de nouveaux biens,
- Organisation des activités de maintenance,
- L'animation et l'encadrement des équipes d'intervention [I.1]

I.2.3. Les niveaux de maintenance :

Pour faciliter principalement la gestion des personnels affectés à la maintenance, on définit :

- **Niveau 1** : réglages simples sans démontage, rondes et surveillance pendant la marche.
- **Niveau 2** : dépannage par échange standard d'éléments prévus à cet effet et opérations mineures.
- **Niveau 3** : identification et diagnostic de pannes, réparation ou remplacement d'éléments fonctionnels.
- **Niveau 4**: travaux de maintenance corrective ou préventive nécessitant des démontages importants.
- **Niveau 5**: rénovation, reconstruction, modifications importantes faisant appel à une main-d'œuvre qualifiée.

Tableau I.1. Les ressources nécessaires pour chaque niveau de maintenance [I.2]



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, polyvalente en 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.

I.2.4. But de la maintenance :

- Redonner au matériel des qualités perdues et nécessaires aux fonctionnements.
- Faire le nécessaire pour assurer le bon fonctionnement du bien, donc de réduire le nombre de défaillances et augmenter le MTBF, si ce bien subit une défaillance, on doit utiliser tous les moyens qu'il dispose.
- Pour le ramener le plus vite possible en état de fonctionnement et par la suite diminuer MTTR.

I.2.5. Types de maintenance :

Il existe plusieurs façons d'organiser les actions de maintenance pour obtenir la disponibilité maximale du matériel au coût minimum. Il en ressort les types de maintenance suivants :

-  la maintenance corrective.
-  la maintenance préventive.

Maintenance corrective :

Maintenance exécutée après la détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise. Cette maintenance corrective peut être décomposée encore: la maintenance palliative et la maintenance curative.

a. Maintenance palliative :

L'action de dépannage permet de remettre provisoirement le matériel à un niveau de performance acceptable mais inférieur au niveau optimal.

b. Maintenance curative:

L'intervention qui suit la défaillance permet le rétablissement du niveau de performance optimal du matériel. [I.3]

Maintenance préventive :

Les interventions de maintenance sont déclenchées avant les défaillances en fonction d'un paramètre. On cherche alors à tendre vers un taux de défaillance nul en effectuant le maintien du niveau de performance requis avant l'apparition du défaut. Elle se décompose en deux branches : la maintenance systématique et la maintenance conditionnelle. [I.3]

➤ **Maintenance systématique :**

Le paramètre déclencheur est le temps, que ce soit le temps réel (quel que soit le temps de fonctionnement de la machine) ou le temps de marche. Les interventions sont déclenchées suivant un échancier de visites intervenant avant la défaillance supposée.

➤ **Maintenance conditionnelle :**

Consiste à vérifier périodiquement l'état des pièces qui se dégradent et à n'intervenir que si

l'état de dégradation est suffisamment avancé pour compromettre la fiabilité du bien. Elle nécessite des moyens de mesure ou de test permettant d'apprécier l'état de dégradation.

L'évolution des capteurs de mesure (par exemple, les capteurs de vibrations) et des dispositifs d'analyse automatique (par exemple, l'analyse des huiles de graissage) associés aux télémessures et aux ordinateurs rendent cette politique plus accessible. Elle est très efficace, mais la gestion des ressources de maintenance est plus difficile et nécessite souvent le recours à l'ordinateur.

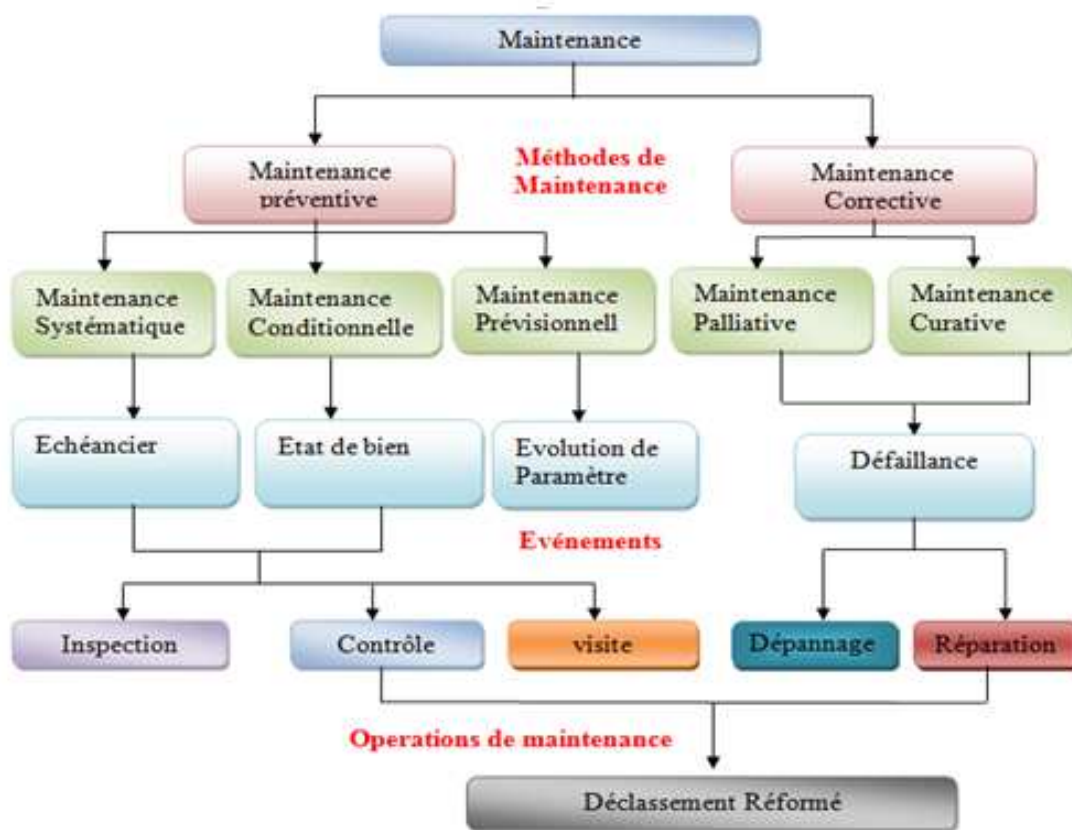


Figure I.1. Organigramme de différentes méthodes de la maintenance [I.4]

I.2.6. Les opérations de maintenance :

- Le dépannage :

C'est une action ou opération de maintenance corrective sur un équipement en panne en vue la remettre en état de fonctionnement.

- La réparation:

C'est une intervention définitive et limitée de maintenance corrective après panne ou défaillance.

L'équipement réparé doit assurer les performances pour les quelles il a été conçu.

- Les inspections:

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

- Les visites :

Ce sont des opérations de surveillance qui dans le cadre de la maintenance préventive systématique, s'opèrent selon une périodicité prédéterminée. Ces interventions correspondent à une liste d'opérations définies au préalable qui peuvent entraîner des organes et une immobilisation du matériel.

- Les contrôles :

Ils correspondent à des vérifications de conformité par rapport à des données préétablies suivies d'un jugement. Le contrôle peut, comporter une activité d'information, inclure une décision, acceptation, rejet ajournement, déboucher comme les visites sur des opérations de maintenance corrective.

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

- Les révisions :

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

IL est d'usage de distinguer suivant l'étendue de cette opération les révisions partielles, des révisions générales. Dans les deux cas, cette opération implique la dépose de différents sous ensembles. [I.3]

I.3. 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

Sûreté de fonctionnement

II.1 Introduction

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 caractérise 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.[II.1]

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 [II.4][II.5]. 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) et de sécurité d'une 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 [II.3].

Après cette brève 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) [II.1].

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.

Le **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[II.4][II.5].

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 [II.6].

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

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

$F(t)$ 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.

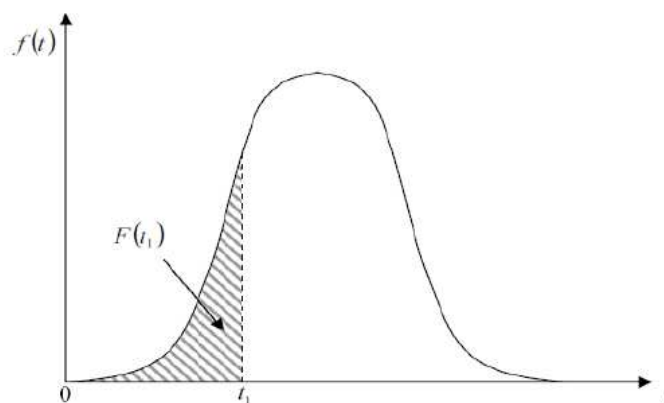


Figure II.1. Exemple de densité de probabilité

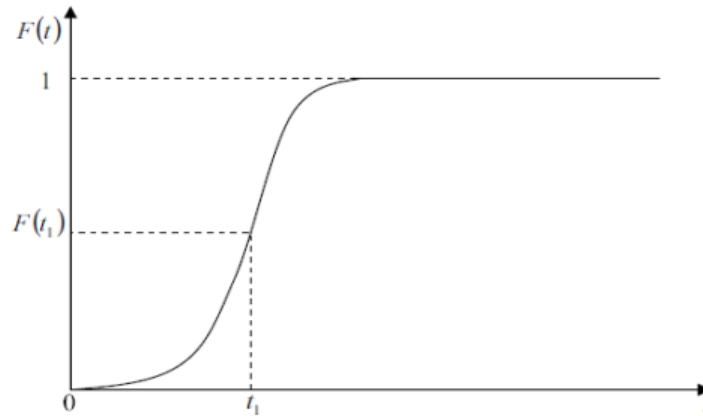


Figure II.2. Exemple de fonction de réparation

Rappelons que par définition :

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

Par conséquence, 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 $\lambda(t)$:

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

Nous pouvons l'écrire également :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 .

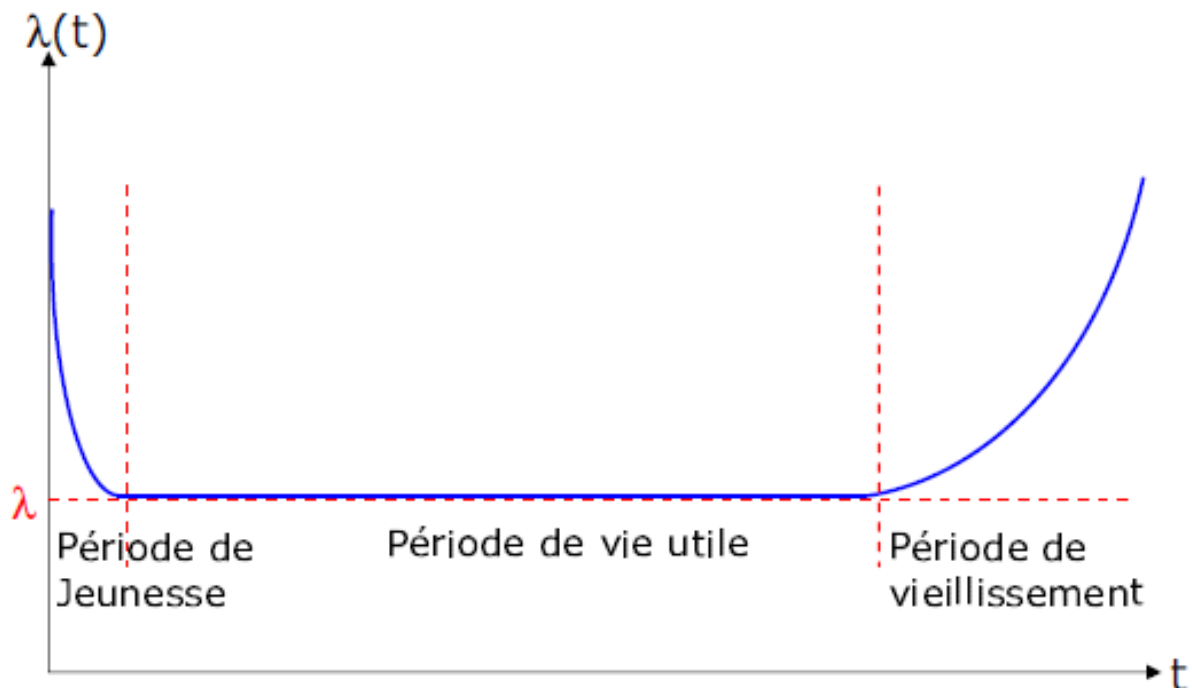


Figure II.3. Taux de défaillance en fonction du temps

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 :

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

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. type des 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 [II.1].

II.2.2.1.4.1. composants en série

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

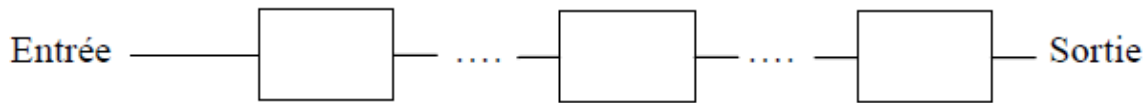


Figure II.4. Système avec n composants en séries.

La fiabilité du système est :

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

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

II.2.2.1.4.2. Composants en parallèle

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

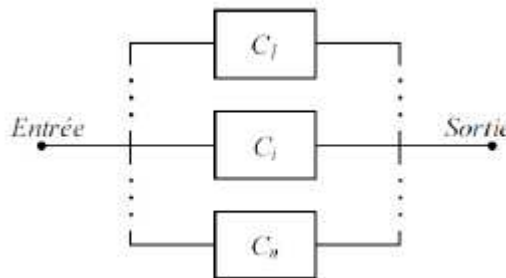


Figure II.5. Système avec n composants en parallèles

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 [II.7].

II.2.2.5.1. 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 . [II.8]

Elle est caractérisée par :

– la fiabilité

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

– La densité de probabilité

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

– Le taux de défaillance

$$\lambda(t) = \lambda \quad (\text{II.15})$$

II.2.2.5.2. Loi de Weibull

La loi de Weibull, est souvent utilisée en mécanique ; elle caractérise bien le comportement du produit dans les trois phases de vie selon la valeur du paramètre de forme β : période de jeunesse ($\beta < 1$), période de vie utile ($\beta = 1$) et période d'usure ou vieillissement ($\beta > 1$). La loi de Weibull est définie par deux paramètres η et β .

Elle est caractérisée par :

– La fiabilité

$$f(t) = e - \left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta \quad (\text{II.16})$$

– La densité de probabilité

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e - \left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta \quad (\text{II.17})$$

– Le taux de défaillance :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (\text{II.18})$$

II.2.2.5.3. 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. [II.8]

$$F(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx \quad (\text{II.19})$$

– la densité de probabilité :

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (\text{II.20})$$

La fiabilité est donnée par:

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (\text{II.21})$$

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 :

$$\Phi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{x^2}{2}} dx \quad (\text{II.22})$$

II.2.2.5.4. 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 :

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{\log(t) - \mu}{\sigma}\right) \quad (\text{II.23})$$

– la densité de probabilité :

$$f(t) = \frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\log(t) - \mu}{\sigma}\right)^2} \quad (\text{II.24})$$

– le taux de défaillance :

$$\lambda(t) = \frac{\frac{1}{\sigma} \left(\frac{\log(t) - \mu}{\sigma}\right)^2}{t \int_0^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} f(t) dt} \quad (\text{II.25})$$

II.2.2.5.5. 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 :

$$f(t) = \frac{t^{\alpha-1} e^{-\frac{t}{b}}}{b^{\alpha} \Gamma(\alpha)} \quad (\text{II.26})$$

– le taux de défaillance :

$$\lambda(t) = \frac{t^{\alpha-1} e^{-\frac{t}{b}}}{b^{\alpha} \int_t^{\infty} \Gamma(\alpha) f(u) du} \quad (\text{II.27})$$

II.2.2.5.6. 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 :

$$f(t) = \frac{\Gamma(a+b)}{\Gamma(a)\Gamma(b)} t^{a-1} \cdot (1-t)^{b-1} \quad (\text{II.28})$$

II.2.2.5.7. 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 :

$$F(t) = \frac{t-a}{b-a} \quad (\text{II.29})$$

– la densité de probabilité :

$$f(t) = \frac{1}{b-a} \quad (\text{II.30})$$

II.2.2.5.8. 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 :

$$f(t) = \frac{1}{2\sqrt{2\pi}\alpha^2\beta t^2} \cdot \frac{t^2 - \beta^2}{\left(\frac{t}{\beta}\right)^2 - \left(\frac{\beta}{t}\right)^2} \cdot \exp\left[\frac{1}{2\alpha^2} \left(\frac{t}{\beta} + \frac{\beta}{t} - 2\right)\right] \quad (\text{II.31})$$

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

La fonction de fiabilité est donnée par la formule:

$$R(t) = 1 - \Phi \left\{ \frac{1}{\alpha} \left[\left(\frac{t}{\beta} \right)^{\frac{1}{\alpha}} - \left(\frac{\beta}{t} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \right] \right\} \quad \alpha > 0; \beta > 0$$

Où Φ est la fonction de répartition de la loi normale centrée réduite. [II.1]

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.

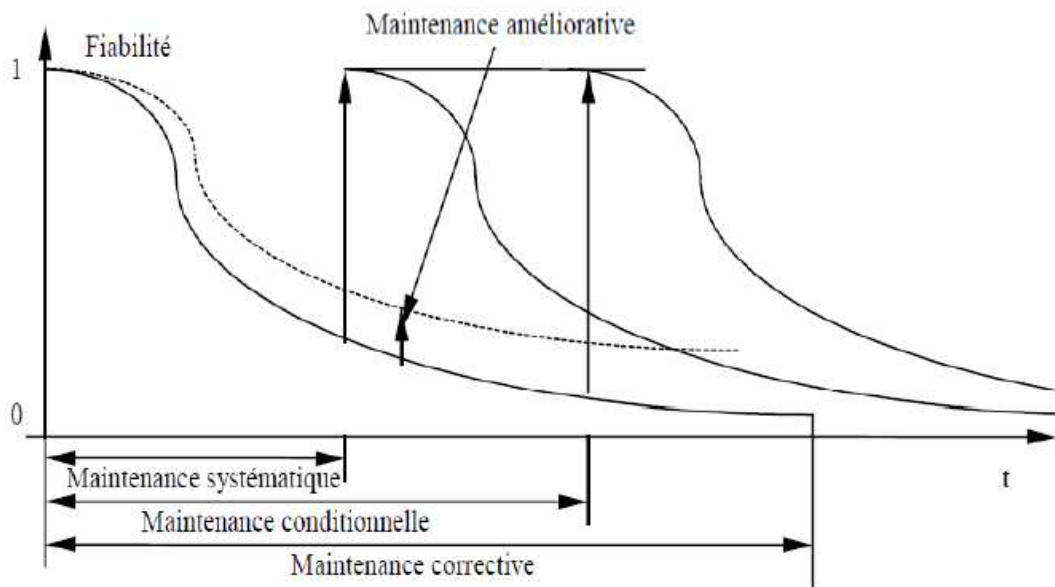


Figure II.6. l'impacte de la maintenance sur la fiabilité des équipements.

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 le composante utilisée sans améliorer les caractéristiques intrinsèques de l'équipement. [II.4]

II.2.2.2. La Maintenabilité

II.2.2.2.1. 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 $t = 0$.

$M(t) = \text{Pr}(S \text{ est réparé sur l'intervalle } (0, t))$ [II.9]

II.2.2.2.2. Les critères de maintenabilité

Les normes NF X 60-300 et X 60-301 spécifient cinq types de critères de maintenabilité. le première est relatif à la surveillance de la maintenance préventive. Il est important de connaître à ce niveau l'accessibilité de la composante, sa démonstrabilité 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 computeurs 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. [II.4]

II.2.2.3. La Disponibilité

II.2.2.3.1. 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.

« sous les aspects combinés de sa fiabilité, de sa maintenabilité et de la logistique de maintenance.. »

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).

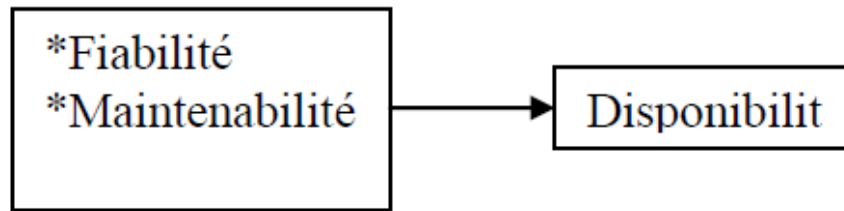


Figure II.7. Composante de la disponibilité

– 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. [II.10]

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. [II.1]

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.

II.2.2.3.2. 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

$$D(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t} \quad (\text{II.33})$$

On démontre également que la disponibilité stationnaire, notée D^∞ , est la limite de $D(t)$ quand 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.

II.2.2.3.3. Expression de la disponibilité stationnaire

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

$$D = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \quad (\text{II.34})$$

Ou :

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (\text{II.35})$$

Dans l'hypothèse où λ et μ sont supposés constants, on notera que les relations (II.34) et (II.35) sont rigoureusement équivalentes, puisque $MTBF = 1/\lambda$ et $MTTR = 1/\mu$.

On remarquera également que la relation (II.34) correspond au premier terme de la relation (II.31), constant quel que soit t (le second terme de la relation (II.33) tend vers zéro quand t tend vers l'infini).

La relation (II.34) correspond donc à la disponibilité stationnaire définie précédemment.

Les relations usuelles (II.34) ou (II.35) ne peuvent alors être utilisées que lorsque l'on s'intéresse à la disponibilité stationnaire.

II.2.2.3.4. 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.

II.2.2.3.4.1. 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) :

$$D_{\infty \text{ système}} = \frac{1}{[\sum_{i=1}^n 1/D_{\infty i}] - (n-1)} \quad (\text{II.36})$$

II.2.2.3.4.2. 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) : [II.2]

$$D_{\text{cosystème}} = \frac{1}{1 + \prod_{i=1}^n (1 - D_{\text{coi}})} \quad (\text{II.37})$$

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. [II.11]

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.

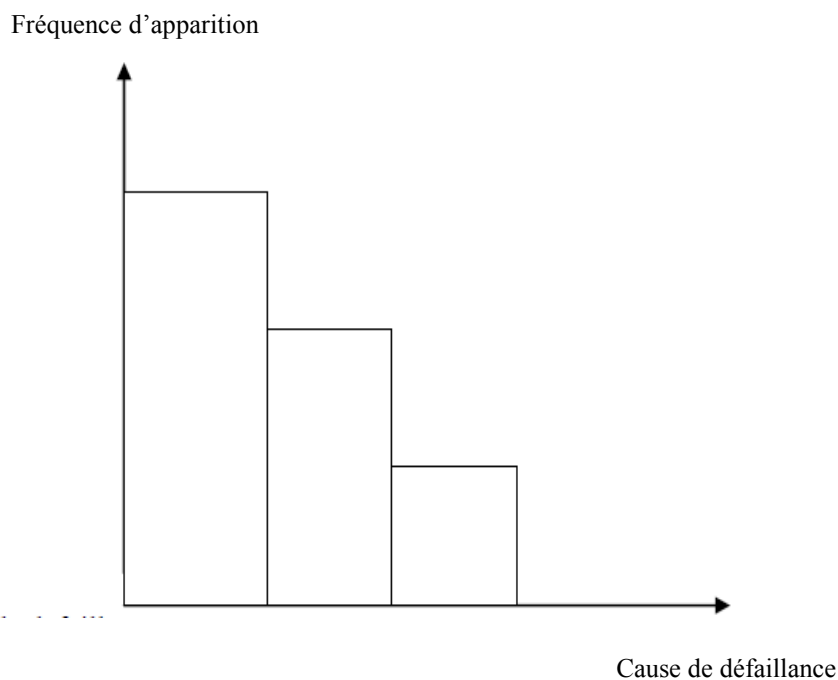


figure II.8. Histogramme de PARETO

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.

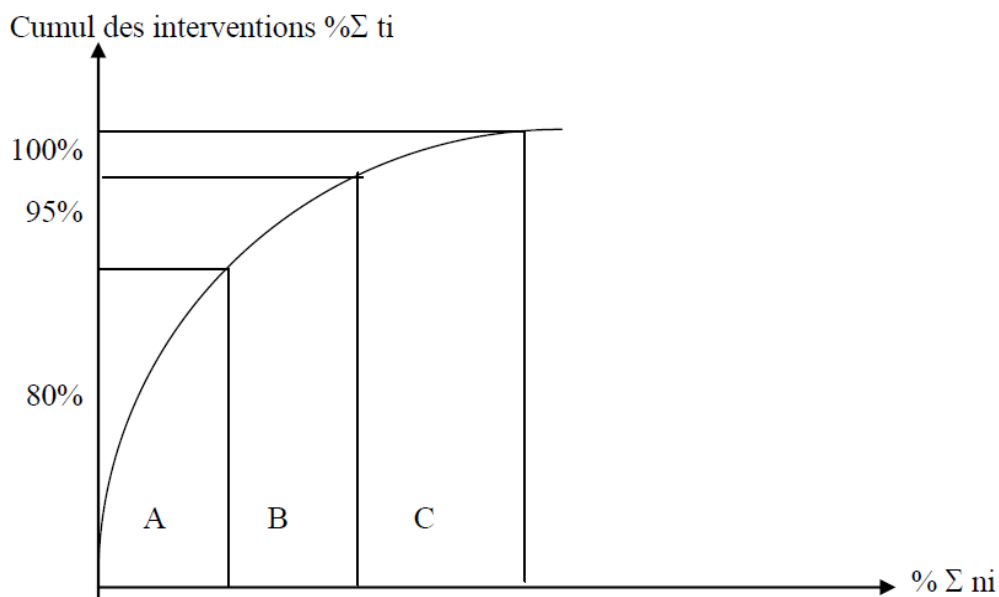
II.3.3. Courbe théorique

Figure II.9. courbe théorique d'analyse ABC.

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. [II.12][II.1]

II.4.La METHODE ISHIKAWA : [II.13]

II.4.1.Présentation :

« **Ishikawa** » ou le « **diagramme Causes/Effets** » est une méthode de résolution de problème qui vise à explorer toutes les dimensions de ce dernier en classant par famille et sous-familles les causes de celui-ci. Cette méthode s'intègre dans une logique d'amélioration continue et permet de relier les causes et les effets d'un dysfonctionnement, qui aura le plus souvent pour origine, dans le cas de la maintenance industrielle, la défaillance technique d'un équipement.

Elle est constituée de quatre grandes étapes :

- Identification et définition du problème à traiter ;
- Listing des sources possibles d'un dysfonctionnement ;
- Classement des causes dans les familles : Matière, Milieu, Méthode, Machine et Main d'œuvre ;
- **Représentation du diagramme cause effet**

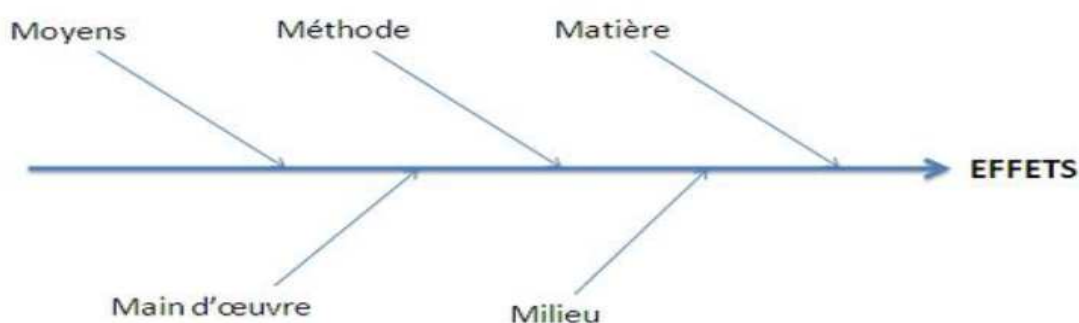


Figure II.10. Diagramme Cause Effet. [II.13]

Ce diagramme à 5 branches peut être étendu à une version « 7M » en y ajoutant le Management et les Moyens financiers. Cependant, en restant sur des dysfonctionnements techniques, ces deux derniers « M » ne seront pas très représentatifs. Dans un souci de simplicité, mieux vaut rester sur un diagramme Causes / Effets à 5 familles.

II.4.2. Mise en pratique :

De la même façon qu'une AMDEC, l'utilisation de cette méthode va demander l'intervention de tous les maillons de la chaîne maintenance. En effet, qui connaît mieux la machine que le technicien de maintenance, qui connaît mieux le milieu que l'opérateur de production, qui connaît mieux les moyens financiers que le superviseur de maintenance ? Le rôle de ce dernier sera également d'animer les séances de réflexion ayant pour objectif de remplir le diagramme.

Bien qu'assez théorique à première vue, cette méthode permet de bien s'intégrer dans la résolution d'un problème et dans la recherche de pannes ou plus généralement de dysfonctionnements techniques.

Elle peut être mise en pratique dans plusieurs cas :

- Suite à une AMDEC faisant ressortir des problèmes particuliers sur un équipement ;
- Dans le cas de pannes récurrentes d'origine inconnue ;

Appliquer Ishikawa de façon plus générique à l'ensemble des équipements d'un centre de production constitué d'un grand nombre de machines ne sera pas intéressant car c'est une méthode qui demande beaucoup de ressources humaines, de temps de réflexion et qui peut par conséquent vite devenir coûteuse.

II.5. Arbre de défaillances «Add» (FaultTree « FT » en anglais) [II.14]

II.5.1. Définition :

Un arbre de défaillances (aussi appelé arbre de pannes ou arbre de fautes) est une technique d'Ingénierie très utilisée dans les études de sécurité et de fiabilité des systèmes statique1.

II.5.2. Formalisme :

Cette méthode consiste à représenter graphiquement les combinaisons possibles d'évènements qui permettent la réalisation d'un évènement indésirable **prédéfini** (appelé communément évènement redouté « ER »).

La représentation graphique met donc en évidence les relations causes à effet.

II.5.3. Modélisation : Cette technique est complétée par un traitement mathématique qui permet la combinaison des défaillances simples ainsi que de leur probabilité d'apparition. Elle est basée sur l'algèbre de Boole relative à la théorie des ensembles.

Elle permet ainsi de quantifier la probabilité d'occurrence d'un évènement indésirable. Egalement appelé « évènement redouté ».

II.5.4. Méthodologie :

L'arbre de défaillance est formé de niveaux successifs d'évènements qui s'articulent par l'intermédiaire des portes (initialement logique).

En adoptant cette représentation et la logique déductive (**allant des effets vers les causes**) et booléenne, il est possible de remonter d'effets en causes de l'évènement indésirable à des évènements de base indépendants entre eux et probabilistes.

II.6. Généralités et description de l'arbre de défaillance :

II.6.1. Introduction :

Lorsqu'il s'agit d'étudier les défaillances d'un système, l'arbre de défaillance s'appuie sur une analyse dysfonctionnelle d'un système à réaliser préalablement : une analyse des modes de défaillances et de leurs effets (**AMDE**). Cette méthode inductive allant des causes aux effets apparaît donc comme préalable à la construction d'un arbre de défaillance puisque l'identification des composants et de leurs modes de défaillance est généralement utilisée au dernier niveau d'un arbre.

L'analyse par arbre de défaillance et le diagramme de fiabilité sont des méthodes pratiques à condition que les évènements de base soit faiblement dépendant. Dans le cas contraire, ces techniques deviennent caduques et il est nécessaire d'employer une technique plus appropriée reposant sur un modèle dynamique comme un processus de MARKOV.

II.6.2. Utilités des arbres de défaillances :

Les arbres de défaillances sont utilisés dans l'ingénierie de sûreté des industries « à risque » et peuvent être utilisés comme un outil d'évaluation de la conception, ils permettent d'identifier les scénarios conduisant à des accidents dans les phases amont du cycle de vie d'un système et peuvent éviter des changements de conception autant plus coûteux qu'ils sont tardifs.

Ils peuvent aussi être utilisés comme un outil de diagnostic, prévoyant la ou les défaillances des composants la ou les plus probables lors de la défaillance d'un système.

II.6.3. Représentation de la méthode de l'arbre de défaillances :

La ligne la plus haute ne comporte que l'évènement dont on cherche à décrire comment il peut se produire. Chaque ligne détaille la ligne supérieure en présentant les combinaisons susceptibles de produire l'évènement de la ligne supérieure auquel elles sont rattachées.

Les relations sont représentées par des liens logiques, dont la plupart sont des « portes OU » et des « portes ET ».

II.7. Conclusion

Ce chapitre est consacré aux notions de base concernant la fiabilité, maintenabilité et la disponibilité pour bien comprendre les mots clés de notre travail, on vu aussi au cours de ce chapitre, la théorie de la méthode ABC et l'histogramme de PARETO.

Et nous avons expliqué l'arbre de défaillance et leur utilisation.

Chapitre III

*Analyse FMD ET
AMDEC*

III.1.INTRODUCTION

L'AMDEC occupe une place importante dans l'optimisation de la fonction maintenance. En effet elle rend le système fiable tout en faisant diminuer le nombre de pannes, facilement maintenable car elle permet la maîtrise des éléments et leurs fonctions, disponible parce qu'elle permet d'agir sur les éléments critiques, sécurisant car elle permet de dominer les défaillances set en particulier les défaillances critiques et catastrophiques. [III.1]

III.2.Les concepts de base du sureté de fonctionnement (sdf) (la presse 1600T)

III.2.1.Application de modèle de Weibull

a) Le temps de bon fonctionnement

TBF=TT-TR

TT: temps totale=528 heures

TR: temps d'arrêt

TBF: temps de bon fonctionnement

Tableau III.1. Les temps d'arrêt de la presse 1600T

N°	Mois	Temps d'arrêt (T.R) [h]	Temps de bon fonctionnement (T.B.F) [h]
01	Janvier 2018	38.35	489.65
02	Février 2018	19.10	508.90
03	Mars 2018	24.25	503.75
04	Avril 2018	86.00	442.00
05	Mai 2018	32.00	496.00
06	Joins 2018	30.50	497.50
07	Juillet 2018	09.00	519.00
08	Aout 2018	82.00	446.00
09	Septembree 2018	25.45	502.55
10	Octobre 2018	33.20	494.80
11	Novembre 2018	34.00	494.00
12	décembre 2018	28.35	499.65
13	Janvier 2019	60.25	467.75
14	Février 2019	171.44	356.56
15	Mars 2019	62.17	465.83

Tableau. III.2. Application du modèle de weibull

TBF	Ni	Σni	$f(t) = \frac{\sum ni - 0.3}{N + 0.4}$
356.56	1	1	0.045
442	1	2	0.110
446	1	3	0.175
465.83	1	4	0.240
467.75	1	5	0.305
489.65	1	6	0.370
494	1	7	0.435
494.8	1	8	0.500
496	1	9	0.665
497.5	1	10	0.630
499.65	1	11	0.695
502.55	1	12	0.760
503.75	1	13	0.825
503.75	1	14	0.890
519	1	15	0.954

b) Paramètres de la loi de weibull en logiciel Log - LAALA

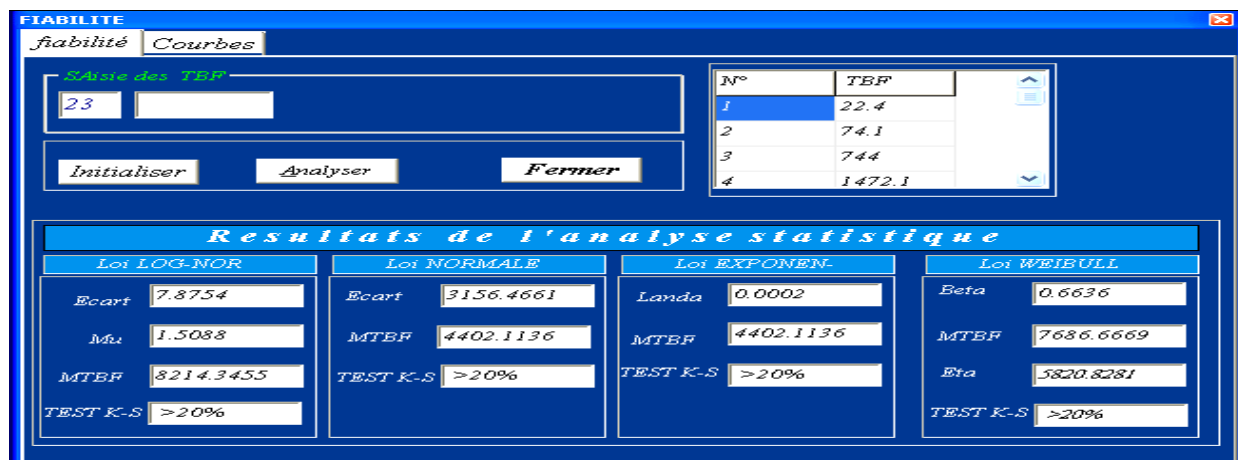


Figure . III.1. Logiciel Log-LAALA

A partir de logiciel LOG _ LAALA, On déduire les paramètres: β , η , γ , MTBF,...?

$$\beta = 10.1254$$

$$\eta = 501.8995$$

$$\gamma = 0$$

$$\text{MTBF} = 477.7080$$

c) Test de (Kolmogorov Smirnov)

Ce test consiste à calculer l'écart entre la fonction théorique **F(t) théorique** et la fonction réelle F(t) réel et prendre le maximum en valeur absolue **Dn.max**.

Cette valeur est comparée avec **Dn. α** . Qui est donnée par la table de Kolmogorov α

- ❖ Si **Dn. Max** > **Dn. α** , on refuse l'hypothèse du modèle théorique.
- ❖ Si **Dn. Max** < **Dn. α** , on accepte l'hypothèse du modèle théorique.

N.B :* la valeur de Dn. α est donnée par la table de **Kolmogorov-Smirnov**.

* ici on a : $N=15 < 20 \rightarrow \alpha = 0.05 = 5\%$

Tableau. III.3. Test de Kolmogorov Smirnov

N	TBF [h]	F(t) réel	F(t) théo	Dn [F(t)r-F(t)t]
01	356.56	0.031	0.045	0.014
02	442.00	0.241	0.110	0.131
03	446/00	0.261	0.175	0.086
04	465.83	0.375	0.240	0.135
05	467.75	0.387	0.305	0.082
06	489.65	0.541	0.370	0.171
07	494.00	0.573	0.435	0.138
08	494.80	0.579	0.500	0.079
09	496.00	0.588	0.665	0.076
10	497.50	0.599	0.630	0.031
11	499.65	0.615	0.695	0.080
12	502.55	0.637	0.760	0.123
13	503.75	0.646	0.825	0.179
14	508.90	0.684	0.890	0.206
15	519.00	0.754	0.954	0.200

$$\alpha = 0.05 = 5\%$$

$$Dn.\alpha = D15. 0.05 = 0.271$$

$$Dn.max = 0.206$$

$$0.206 < 0.271 \Rightarrow Dn.max. < Dn \text{ (Pour La Valeur } Dn.\alpha \alpha)$$

Donc le modèle de Wei Bull est acceptable.

d) Calcule de R (t), f (t), λ(t) et F (t) lorsque t = MTBF

$$MTBF = \gamma + A\eta$$

A partir de Tableau numériques pour une loi de weibull (en annexe) selon la valeur de β ; on déduire → A=0.952

$$MTBF = 0 + 0.952 * 501.90 = 477.70 \text{ h}$$

➤ Calcule de R (MTBF)

$$R(TBF) = R(477.70) = e^{-\left[\frac{MTBF}{\eta}\right]^\beta} = 0.545$$

On à 54.50 % de chance pour que notre presse d'extrusion (1600 T) ne tombe pas en panne en t = 7183.94 h..

➤ Calcule de F (MTBF)

$$F(MTBF) = F(477.70) = 1 - e^{-\left[\frac{MTBF - \gamma}{\eta}\right]^\beta} = 0.455$$

On à 45.50% de chance pour que notre presse d'extrusion (1600 T) ne tombe pas en panne en t = 7183.94 h.

➤ Calcule de λ (MTBF)

$$\lambda(MTBF) = \frac{F(MTBF)}{R(MTBF)} = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{t - \gamma}{\eta}\right]^{\beta-1} = 0.0128478$$

On à 1.30% de chance pour que notre presse d'extrusion (1600 T) ne tombe pas en panne.

➤ Calcule de f (MTBF)

$$f(MTBF) = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{MTBF - \gamma}{\eta}\right]^{\beta-1} * e^{-\left[\frac{MTBF - \gamma}{\eta}\right]^\beta} = 0.007002$$

On à 0,7002 %de chance pour que notre presse d'extrusion (1600 T) ne tombe pas en panne.

➤ Etude de modèle de Weibull

Tableau. III.4. Étude de modèle de Weibull

N	TBF [h]	$F(t)$	$f(t)$	$\mu(t)$	$R(t)$
01	356.56	0.031	0.00086	0.00089	0.969
02	442.00	0.241	0.00480	0.00632	0.759
03	446.00	0.261	0.00507	0.00686	0.739
04	465.83	0.375	0.00638	0.01021	0.625
05	467.75	0.387	0.00650	0.01060	0.613
06	489.65	0.541	0.00739	0.01610	0.459
07	494.00	0.573	0.00745	0.01745	0.427
08	494.80	0.579	0.00745	0.01769	0.421
09	496.00	0.588	0.00746	0.01811	0.412
10	497.50	0.599	0.00746	0.01860	0.401
11	499.65	0.615	0.00745	0.01935	0.385
12	502.55	0.637	0.00741	0.02041	0.363
13	503.75	0.646	0.00738	0.02084	0.354
14	508.90	0.684	0.00723	0.02288	0.316
15	519.00	0.754	0.00673	0.02736	0.246

Tout d'abord on va tracer Les trois courbes de fonctions "Densité De Probabilité, Répartition, Taux De Défaillance", successivement qui sont liées du concept de la fonction Fiabilité, ensuite on trace la courbe de la fonction de Fiabilité.

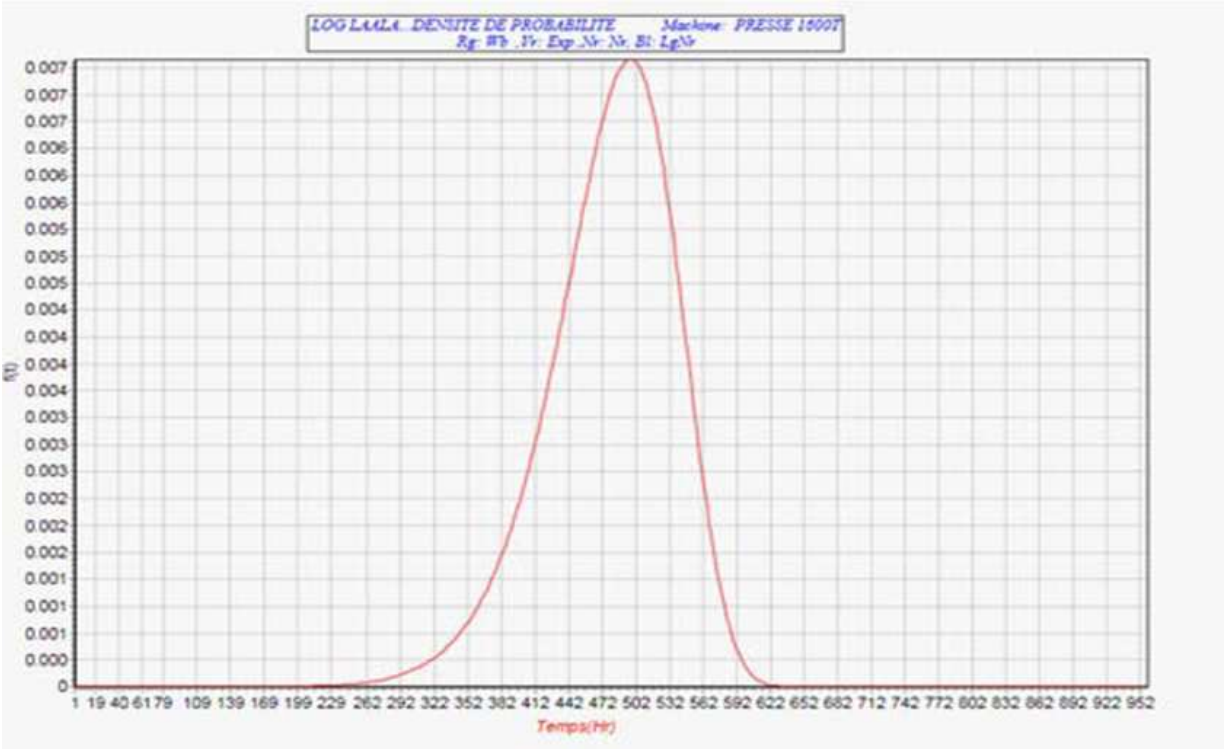


Figure . III.2 . Courbe de densité de probabilité

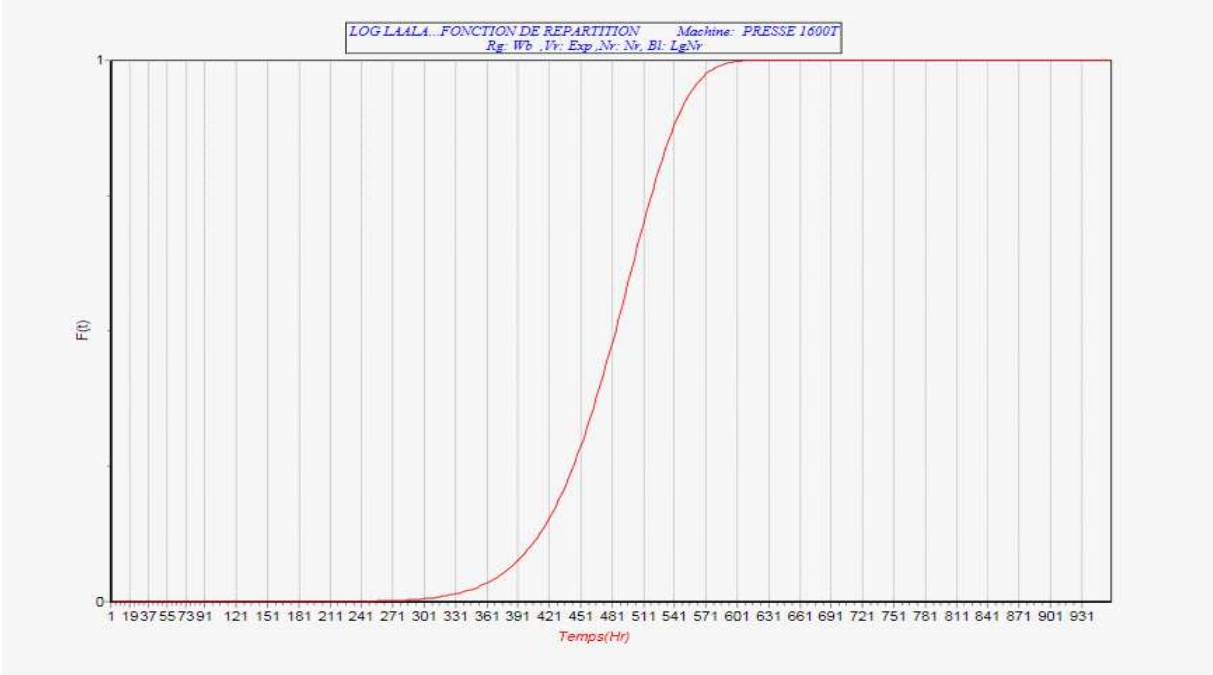


Figure . III.3 . courbe de fonction de répartition

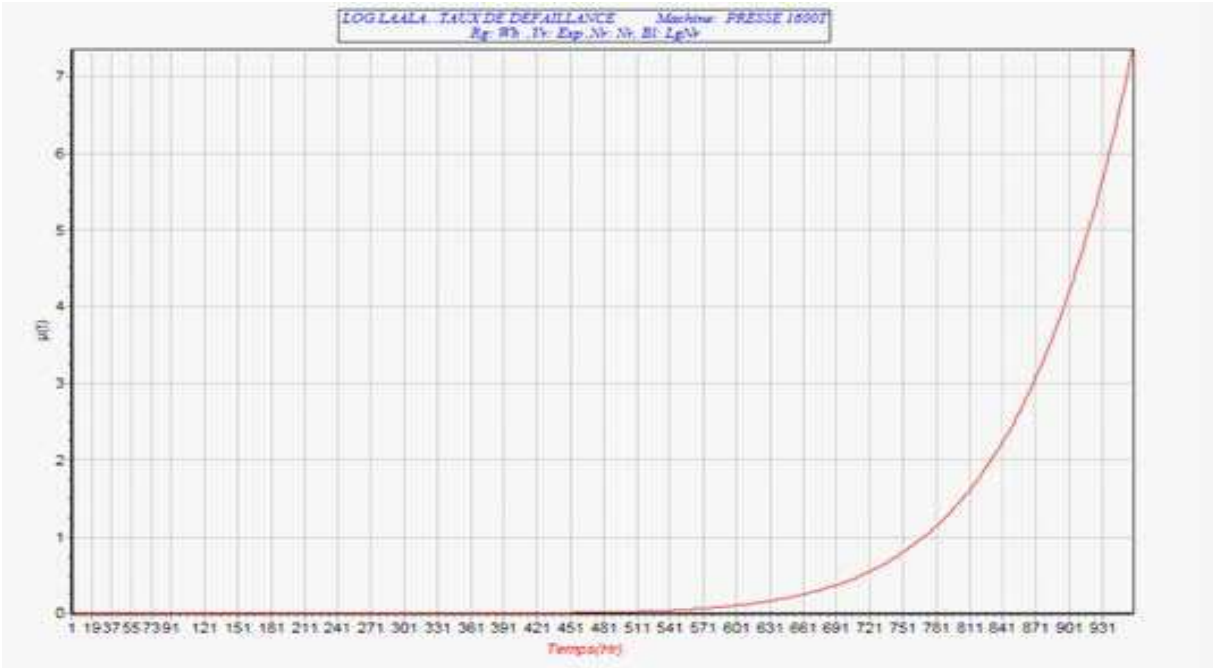


Figure . III.4 . Courbe de taux de défaillance

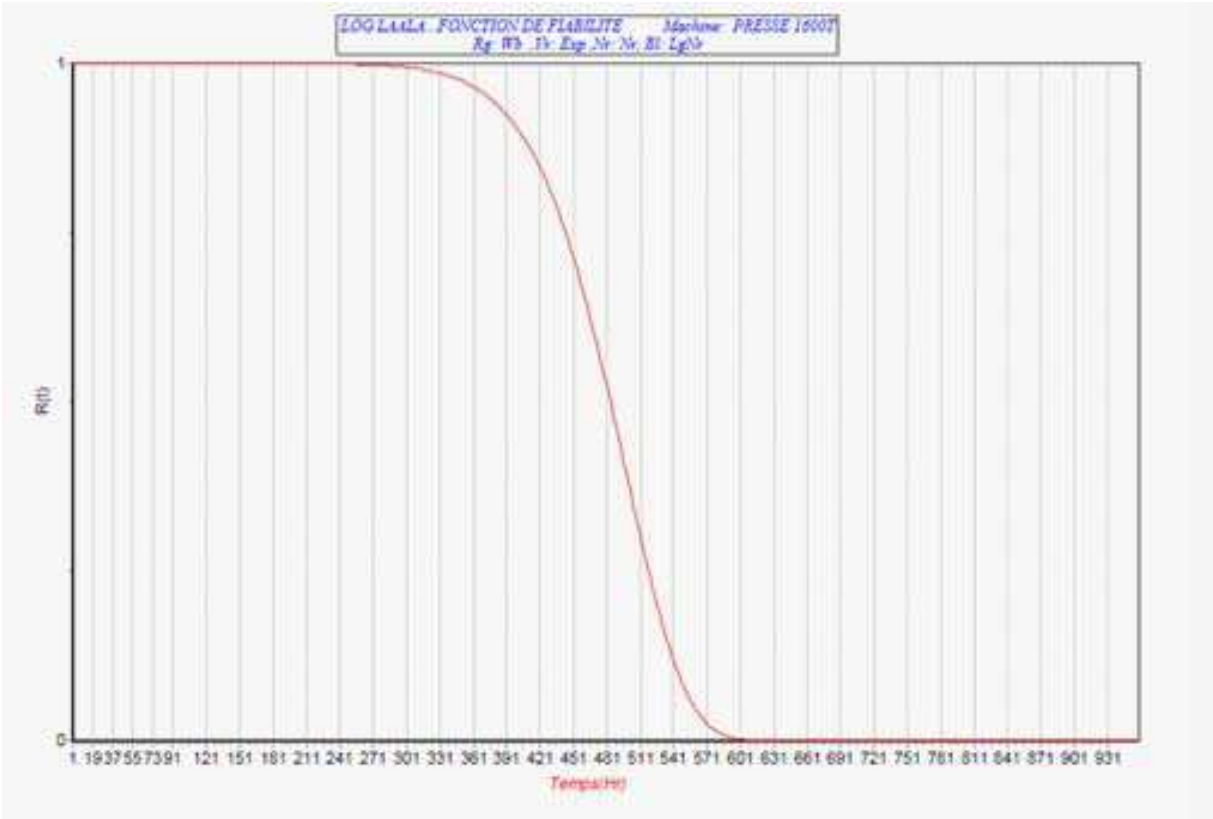


Figure . III.5. courbe de fonction de fiabilité

III.2.2. Interprétation des courbes

La courbe de fiabilité du machine d'extrusion (presse 1600T) est une courbe descendante, le moyen du temps de bon fonctionnement est 477.70 heures (pour chaque mois) et avec une probabilité de **54.50 %**.

Donc on peut dire que la qualité de cette chaîne de production (presse 1600T) est de **54.50 %**. La fiabilité de cette dernière est jugé comme étant acceptable.

Pour la courbe de la densité de probabilité, elle représente la probabilité instantanée de défaillance (juste au temps t), donc l'augmentation du TBF provoque une diminution de sa fiabilité et augmente la probabilité d'apparition d'un défaut ou de défaillance.

La courbe de la fonction de répartition est une courbe croissante, et qui représente la probabilité cumulée de défaillance, et ce qu'on peut voir dans cette courbe c'est que la probabilité de défaillance de la machine d'extrusion augmente avec l'augmentation des temps de bons fonctionnements.

La courbe qui représente le taux de défaillance à un instant donné est une courbe croissante. $\beta = 10.1254$ ne correspond pas à la zone de décroissance rapide c'est la période de mise en place et de déverminage de l'installation. Les défaillances sont dues à des anomalies ou des imperfections de montage ou à la méconnaissance de la conduite du matériel de la part des opérateurs, c.-à-d. que le taux de défaillance augmente aussi avec l'augmentation du temps de bon fonctionnement, cette augmentation qui provoque la diminution de fiabilité de la machine.

Pour l'amélioration de la fiabilité de la machine d'extrusion (presse 1600T) on a proposé Le Suivant :

a) Calcul du temps souhaitable pour une intervention systématique

$$R(t) = 90\% \Rightarrow t = ?$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

$$\ln R(t) = -\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta = \ln(0.90) \Leftrightarrow -[\ln R(t)]^{\frac{1}{\beta}} = \frac{t}{\eta} \Rightarrow t = \eta [\ln R(t)]^{1/\beta}$$

$$t = 501.8995 (\ln(0.90))^{1/10.1254} \approx 40187h \approx 402h$$

b) Graphiquement :

D'après les figures précédentes on trouve que le temps systématique de maintenance pour assurer la fiabilité de 90% de la machine est 402 heures.

III.2.3 Maintenabilité intrinsèque

MTTR: Mean Time To Repair.

Moyenne des temps de réparation

$$MTTR = \frac{\text{Temps cummule pour réparation}}{\text{Nombre d'intervention}}$$

Le taux de réparation (μ) :

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \text{int/h}$$

Dans la plus par cas M (t) est constante alors

$$Me(t) = 1 - e^{-\mu_a t}$$

$$MTTR = \frac{736.76}{15} = 49.12 \text{h/int}$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{49.12} = 0.02035 \text{h/int}$$

$$M(t) = 1 - e^{-0.02035t}$$

Tableau. III.5. Tableau de maintenabilité

N°	Temps de réparation [h]	M(t)
01	38.35	0.5422
02	19.1	0.3224
03	24.25	0.3899
04	86	0.8266
05	32	0.4790
06	30.5	0.4628
07	9	0.1675
08	82	0.8119
09	25.45	0.4046
10	33.2	0.4916
11	34	0.4998
12	28.35	0.4388
13	60.25	0.7070
14	171.44	0.9696
15	62.87	0.7223



Figure . III.6. Courbe de maintenabilité

A partir de logiciel **LOG _ LAALA**, On déduit les paramètres :

MTTR=49.07

μ (taux de réparation) = 0.020379

$M(t) = 0.9792$

$t = 190$

III.2.3.1 Interprétation de la courbe de maintenabilité

On voit que la courbe de maintenabilité est une courbe croissante, qui est le complément à l'unité de la probabilité pour que le système ne soit pas réparé sur l'intervalle $[0, t]$. Après l'observation du graphe de maintenabilité on déduit que nous avons peu de chance pour que la réparation se fasse dans les meilleures conditions possibles.

Pour l'amélioration de la maintenabilité de la machine d'extrusion (presse 1600T) on a proposé le suivant :

Il faut diminuer l'allongement du temps de réparation et pour cela on va appliquer la méthode de l'AMDEC.

III.2.4 La disponibilité

La norme AFNOR X 60-500 définit la disponibilité comme « l'aptitude d'une entité à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou pendant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires de maintenance soit assurée ».

La probabilité associée $A(t)$ à l'instant t est aussi appelée disponibilité et s'exprime par :

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

L'aptitude contraire est appelée indisponibilité et est définie par :

$$\bar{A} = 1 - A(t)$$

III.2.4.1 Définition de la disponibilité

C'est l'aptitude d'un dispositif à être en état de fonctionnement dans ces conditions données sous les aspects combinés de la fiabilité de la maintenance, la logistique et l'organisation de maintenance c'est la probabilité pour qu'un dispositif soit en état de fonctionnement selon des conditions de maintenance prescrite et pour un temps donné.

III.2.4.2 Les sortes de la disponibilité

a) Disponibilité intrinsèque

Cette disponibilité est évaluée en prenant en compte les moyennes des temps de bon fonctionnement et les moyennes des temps de réparation.

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

b) Disponibilité instantanée

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

μ : Taux de réparation.

λ : Taux de défaillance.

III.2.4.3 Analyse numérique

a) Disponibilité intrinsèque

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{670.93}{670.93 + 49.07} = 0.9318$$

$$D_i = 93.18\%$$

b) Disponibilité instantanée

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{478.93} = 0.00209$$

$$MTTR = \frac{1}{\mu} \rightarrow \mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{49.08} = 0.02037$$

$$\frac{\lambda}{\lambda + \mu} = \frac{0.00209}{0.00209 + 0.02037} = 0.09305$$

$$\frac{\mu}{\lambda + \mu} = \frac{0.02037}{0.00209 + 0.02037} = 0.9069$$

$$D(t) = 0.9069 + 0.09305 \times e^{-0.02246t}$$

Tableau. III.6. Tableau de la disponibilité

N	TBF [h]	D(t)
01	356.56	0.906931
02	442.00	0.906904
03	446.00	0.906904
04	465.83	0.906902
05	467.75	0.906902
06	489.65	0.906901
07	494.00	0.906901
08	494.80	0.906901
09	496.00	0.906901
10	497.50	0.906901
11	499.65	0.906901
12	502.55	0.906901
13	503.75	0.906901
14	508.90	0.906901
15	519.00	0.906901

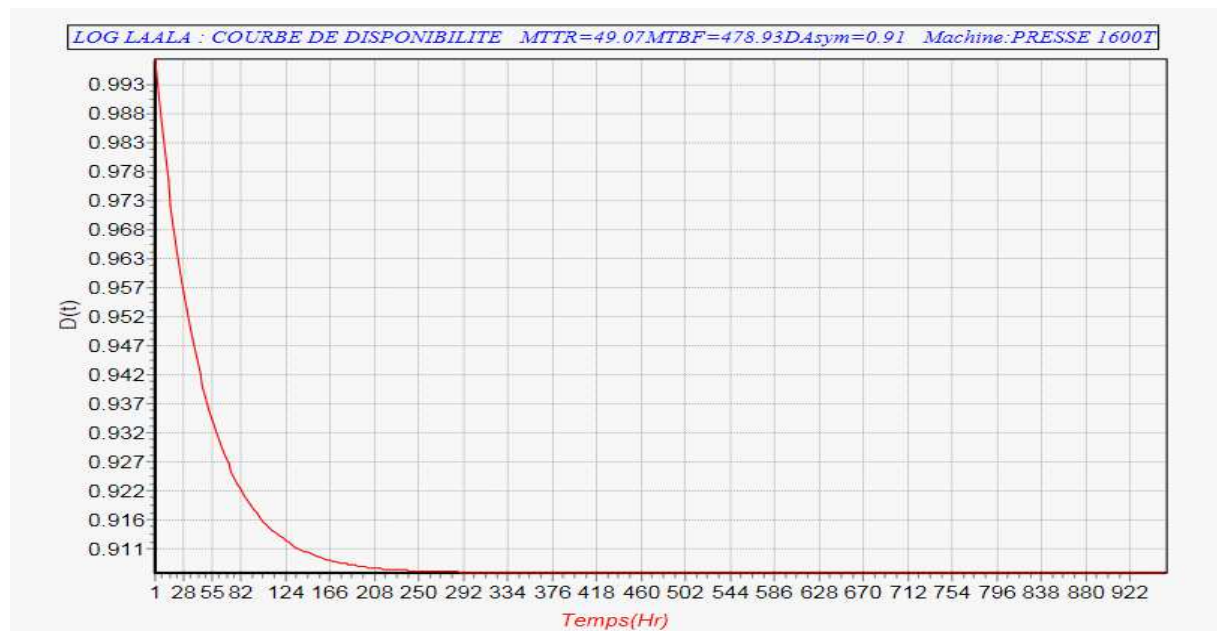


Figure . III.7. Courbe de disponibilité

A partir de logiciel LOG _ LAALA, On déduire les paramètres :

MTTR=49.08

MTTF=478.93

Disponibilité - Asymp =0.91

D(t) =0.9071

t =925

III.2.5. Interprétation de la courbe de disponibilité

On voit que la courbe de disponibilité est une courbe descendante, et la disponibilité est le reflet de la fiabilité et de la maintenabilité, l'augmentation de cette caractéristique revient directement à augmenter ces deux paramètres et du moment de la presse 1600T on doit agir toujours sur la fiabilité.

Nous pouvons constater que la machine d'extrusion (presse 1600T) représente une disponibilité instantanée prévisionnelle très passable car elle est égale à 90.60% donc on doit maintenir ce seuil de D (t).

III.3. Etude technique de la presse

III.3.1. description de la presse :

La présente machine est une presse à extruder hydraulique à simple action du type horizontale, à commande hydraulique directe permettant la marche par impulsions, la marche par cycle et la marche synchronisée de la presse dont le but est de filer des profilés en aluminium ou en alliage d'aluminium.

Dans l'unité de l'extrusion il existe deux lignes de production, Avec deux presses installées et d'une puissance de 1.600, 2.500 tonne. [III.2]

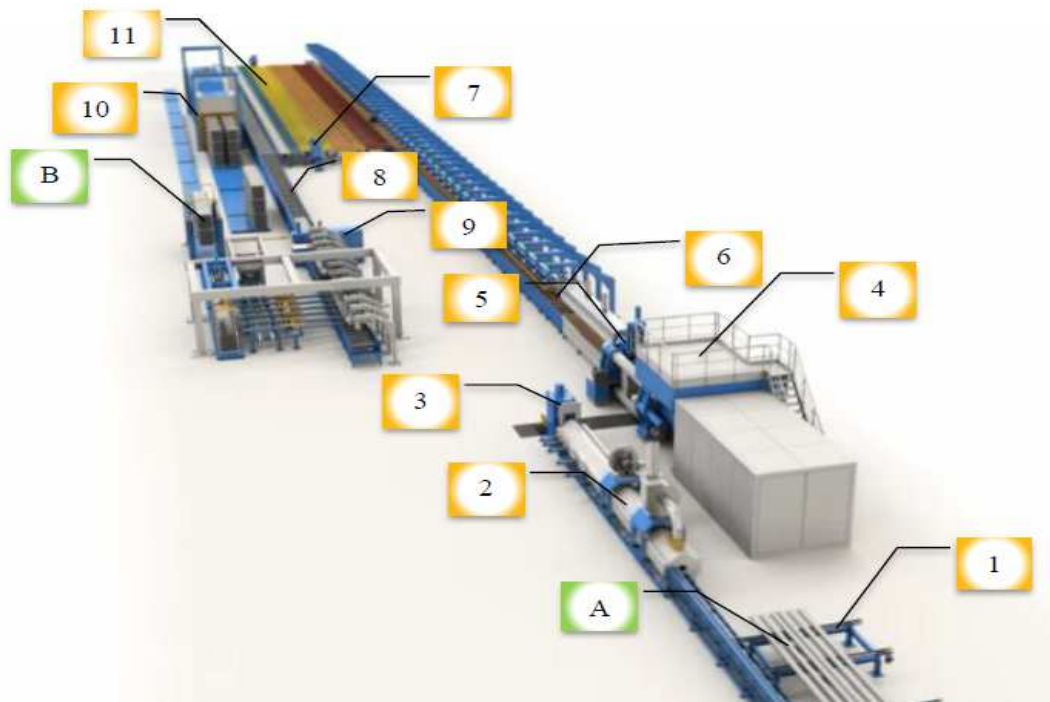


Figure III.8. représente le système choisi la presse 1600T

III.3.2. Constituants de la presse 1600T

Tableau. III.7. Composants de la presse 1600T

Numéro	Composant
1	Aluminium Logs Feeding Table
2	Log furnace
3	Log shear
4	Extrusion Press
5	Run out cutsaw
6	Puller
7	Stretcher
8	Saw gauge table
9	Extrusion cut up saw
10	Ageing furnace
11	Cooling table
A	Aluminium Log
B	Extruded profile

III.3.3. Quelque définition sur les équipements de la presse

III.3.3.1. Four a billette :

Est un ensemble des installations constitué par le four qui a pour rôle de réchauffer les billettes provenant de la halle de refonte ou les longues billettes achetées à 380 à 580 °C pour les passer à la ligne de filage.

III.3.3.1.1. La Composition :

- ❖ Nombre de zones de chauffe : 3 plus 1 zone de récupération .
- ❖ Nombre de lignes de brûleurs : 12 .
- ❖ 3 mélangeurs gaz /air.
- ❖ 3 thermocouples.
- ❖ un convoyeur à double chaîne la vitesse de 10m/mn.
- ❖ diapositive de nettoyage.
- ❖ un ensemble de revêtement avec viroles en céramique non cimentée (intérieur de four).

III.3.3.2. Cisaille à chaud de billettes :

Cet équipement a pour fonction automatiquement entre four à billette.

Emploi : coupé la longueur de billette spécifique.

III.3.3.2.1. La composition :

- ❖ Rouleaux d'entraînement à commande électrique (4 paires).
- ❖ Une superstructure hydraulique.
- ❖ Un dispositif élévateur pour mise à longueur de billette.
- ❖ Un treuil de levage de la superstructure de la cage.
- ❖ Anneau fixe d'ouverture et fermeture de cisaille.
- ❖ dispositifs électriques à la cisaille.
- ❖ Une boîte de commande à la sortie du four et de la cisaille.
- ❖ Une unité hydraulique et une unité de commande.
- ❖ Un refroidisseur d'huile (air de refroidissement).
- ❖ Un dispositif de manutention automatique.

III.3.3.3. Tracteur de filage :

Cet équipement peut être commandé automatiquement en étant solidaire de la presse à extruder.

Emploi : Tirer les profils extrudés.

III.3.3.1.La composition :

- ❖ Câble du flexible.
- ❖ Dispositif de transfert, tout en maintenant la traction constant avec une vitesse identique à celle d'extrusion.
- ❖ Par ailleurs, grâce à l'entraînement hydraulique, il est possible de varier infiniment la traction.
- ❖ Déplacement de tracteur sur le chariot.

III.4.Historique des pannes des 5 équipements**Tableau. III.8.** Heures d'arrêt et nombre des pannes des composants de la presse 1600T.

Equipement	Nombre de panne	Temps d'arrêt (h)
Tracteur de filage	158	435.35
Four à billettes	122	171.6
Table de refroidissement	50	48.15
Cisaille à billettes à chaud	47	37.2
Table de chargement	40	35.05

III.5.Cumule des pannes :

Le tableau suivant représente les heures d'arrêts , et le taux d'arrêt de chaque élément :

Tableau III.9. Taux d'arrêts de la presse 1600T

Equipement	Heure d'arrêt (h)	Taux d'arrêt%
Tracteur de filage	435.35	59.85
Four à billettes	171.6	23.59
Table de refroidissement	48.15	6.62
Cisaille à billettes à chaud	37.2	5.11
Table de chargement	35.05	4.82

Avec :

Le taux d'arrêt est donné par la relation suivant :

$$\text{Taux d'arrêt}(X) = \frac{\text{Nombre d'heure d'arrêt}}{\Sigma \text{Nombre d'heure d'arrêt}} * 100$$

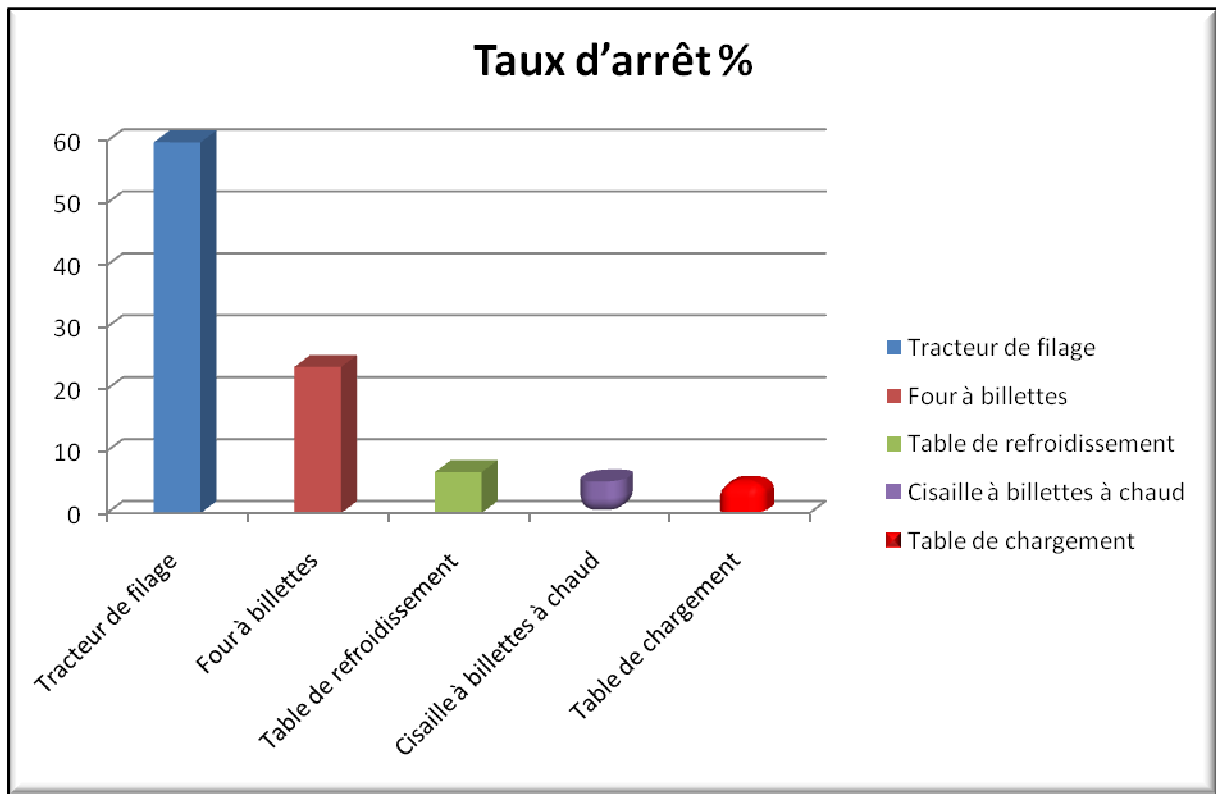


Figure III.9. Histogramme des taux d'arrêts

III.6. Analyse des modes défaillance leur effet et leur criticité AMDEC [III.5]

L'analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC) est une méthode d'analyse prévisionnelle de la fiabilité qui permet de recenser systématiquement les défaillances potentielles d'un dispositif puis d'estimer les risques liés à l'appariation de ces défaillances, afin d'engager les actions correctives à apporter au dispositif.

III.6.1.Principe de la méthode (AMDEC)[III.8]

La réalisation du dossier AMDEC doit passer par une phase amont qui consiste à la préparation de l'unité à l'analyse par décomposition fonctionnelle, en utilisant une des méthode de l'analyse fonctionnelle .

Après la décomposition de l'unité en sous systèmes ou en pièces (cela dépend du niveau de décomposition adopté) , chacun de ces modes doit passer par les étapes suivantes :

III.6.1.1.Analyse fonctionnelle :

Les méthodes d'analyse fonctionnelle sont indispensables pour réaliser une décomposition fonctionnelle et matérielle d'une installation industrielle en cour de conception ou en fonctionnement.

L'utilisation de ces méthodes, par leurs caractères systématiques et exhaustifs, représente une garantie formelle pour décomposer une installation industrielle en niveaux fonctionnels et matériels nécessaires, pour identifier les modes de défaillances et leurs conséquences sur les objectifs opérationnels retenus pour l'installation ou équipement concerné.

L'analyse fonctionnelle permet d'identifier la totalité des fonctions d'un système à partir des relations de celui-ci avec son environnement..

Les trois phases de la méthode sont :

- L'analyse du besoin de produit ou système.
- L'étude de l'environnement.
- La détermination des fonctions de l'équipement et des éléments qui sont nécessaires.

On a fait successivement une analyse fonctionnelle externe pendant laquelle, on considère l'équipement comme une boîte.

On utilise une représentation graphique simplifiée.

Cette analyse permet de faire exprimer le groupe sur fonction qui des milieux extérieure au système.

On définit une (des) fonction (s) principale (s) et des fonctions contraintes rendues nécessaires pour que le système satisfasse à la sécurité, l'environnement à certaines contraintes d'utilisation par exemple.

Les résultats des analyses fonctionnelles sont matérialisés par le bloc diagramme fonctionnel (BDF). [III.5].

III.6.1.2. Analyse des défaillances

Pour tous les éléments de l'arborescence, on étudie successivement leur mode de défaillances, leurs effets et leur cause.

Souvent, on regarde également le mode de détection, s'il existe.

III.6.1.3. Recensement des modes de défaillance

Le mode de défaillance est la caractéristique perceptible ou observation de la défaillance . Cette phase consiste à recenser de façon la plus complète possible tous les modes de défaillances plausibles et potentielles de l'unité analysée.

III.6.1.4. Recherche des causes de défaillance

Il est illusoire de viser l'exhaustivité dans cette phase, cependant une technique de recherche des causes fort efficace consiste à utiliser un outil de travail de groupe bien connu.

III.6.1.5. Hiérarchisation des défaillances

Le grand nombre de défaillance répertoires et analysées lors de la phase précédente nécessite d'introduire une certaine hiérarchisation afin de pouvoir isoler les plus (critique), c'est-à-dire celle qu'il va falloir éliminer en revoyant la conception du système.

III.7. But de l'AMDEC [III.7]

L'AMDEC est une technique qui conduit à l'examen critique de la conception dans un but d'évaluer et de garantir la sûreté de fonctionnement (sécurité, fiabilité, maintenabilité et disponibilité) d'un moyen de production.

L'AMDEC va permettre d'atteindre ces objectifs en traitant systématiquement les paramètres suivants.

III.7.1. Recensement et définition des fonctions :

- ❖ du moyen de production.
- ❖ des sous-systèmes.
- ❖ des composants.

III.7.2. Analyse des défaillances par :

- ❖ le recensement des modes de défaillance.
- ❖ l'identification des causes de défaillance.
- ❖ l'évaluation des risques.
- ❖ la recherche des modes de détection.

III.7.3. Hiérarchisation des défaillances avec la cotation de la criticité :

Qui va permettre d'estimer, pour chaque défaillance, trois critères de définition :

- ❖ La fréquence d'apparition de la défaillance (indice F).

- ❖ La gravité des conséquences que la défaillance génère (indice G).
- ❖ La non détection de l'apparition de la défaillance, avant que cette dernière.
- ❖ Ne produise les conséquences non désirées (indice D)

III.8.Types d'AMDEC [III.4]

Il existe globalement trois types d'AMDEC suivant que le système analysé est :

- ❖ le produit fabriqué par l'entreprise.
- ❖ le processus de fabrication du produit de l'entreprise.
- ❖ le moyen de production intervenant dans la production de produit de l'entreprise.

III.8.1.AMDEC produit :

L'AMDEC produit est utilisée pour l'aide à la validation des études, cette définition d'un nouveau produit fabriqué par l'entreprise.

Elle mise en œuvre pour évaluer les défauts potentiels du nouveau produit et leurs causes. Cette évaluation de tous les défauts possibles permettra d'y remédier, après hiérarchisation, par la mise en place d'action corrective sur la conception et préventive sur l'industrialisation.

III.8.2. AMDEC Processus:

L'AMDEC- Processus est utilisée pour étudier les défauts potentiels d'un produit nouveau ou non, engendrés par le processus de fabrication.

III.8.3. AMDEC Moyen de production :

Elle permet de réaliser l'étude du moyen de production lors de sa conception ou pendant sa phase d'exploitation.

Pour un moyen de production en cours d'exploitation, la réalisation d'une AMDEC permet l'analyse de la cause réelle de défaillance ayant pour conséquence l'altération de la performance du dispositif de production.

III.9.Terminologie :

Il est important de les connaître parfaitement afin de comprendre précisément le fonctionnement de l'AMDEC et d'en assurer la meilleure application possible.

III.9.1.Mode de défaillance :

Un mode de défaillance est la manière par laquelle un dispositif peut venir à être défaillant, c'est-à-dire à ne plus remplir sa fonction, Le mode de défaillance est toujours relatif à la fonction du dispositif. Il exprime toujours en termes physiques.

Exemple : blocage, grippage, rupture, fuite, etc.

III.9.2.Défaillance:

Une défaillance est la cessation de l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise, elle permettre complète ou partielle.

III.9.3.Effet de la défaillance:

L'effet d'une défaillance est, par définition, une conséquence subie par l'utilisateur. IL est associé au couple (mode cause de défaillance) et correspond à la perception finale de la défaillance par l'utilisateur.

Exemple: arrêt de production, détérioration d'équipement, pollution, etc.

III.9.4.Criticité:

La criticité est une évaluation quantitative du risque constitué par le scénario (mode-cause- effet- détection) de défaillance analysé. La criticité est évaluée à partir de la combinaison de trois facteurs :

- la fréquence d'apparition du couple mode cause.
- la gravité de l'effet.
- La possibilité d'utiliser les signes de détection.

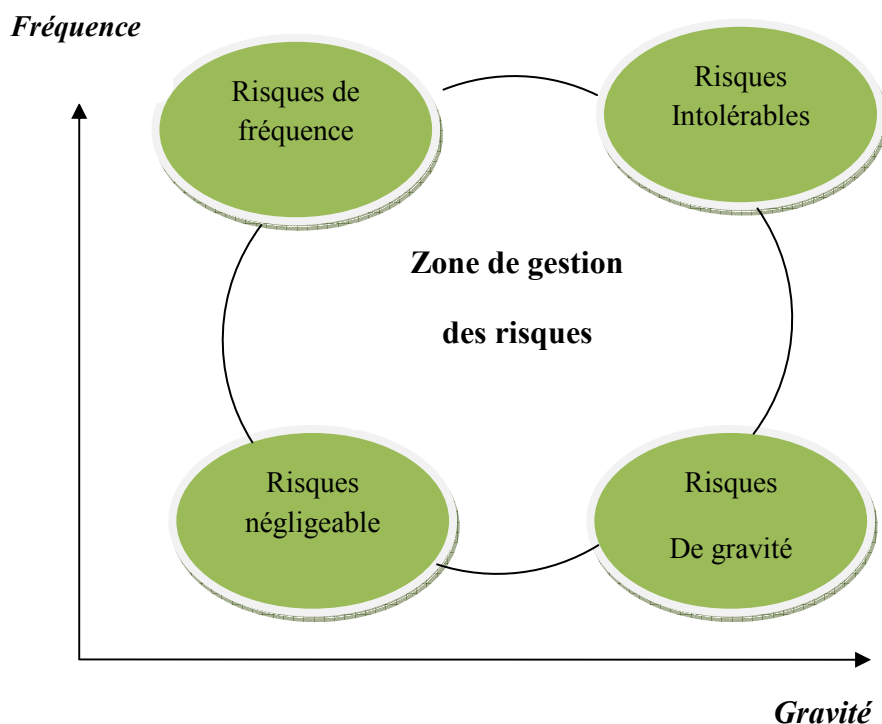


Figure III.10.Diagramme de criticité

III.10. Caractéristiques essentielles de l'AMDEC [III.4]

L'AMDEC est une méthode inverse de celle mise en œuvre pour la conception, puisqu'elle est réalisée pour analyser comment un dispositif conçu peut être amené à ne pas fonctionner et quelles seront les conséquences de ses dysfonctionnements sur le dispositif de production, le produit fabriqué et la sécurité des personnes et des biens.

L'AMDEC est une méthode d'analyse inductive rigoureuse qui permet une recherche systématique :

- ❖ des modes de défaillance d'un moyen de production.
- ❖ des causes de défaillance générant les modes de défaillance.
- ❖ des conséquences des défaillances sur le moyen de production.
- ❖ des moyens de détection pour la prévention et / ou la correction des défaillances.

III.11. L'indice de criticité :

Est calculé pour chaque défaillance, à partir de la combinaison des trois critères précédents, par la multiplication de leurs notes respectives : [III.6]

$$C = F * G * D$$

Tableau III.10. Indice de fréquence F

<i>Valeur de F</i>	Fréquence d'apparition de la défaillance
1	Défaillance pratiquement inexistante sur des installations similaires en exploitation, au plus un défaut sur la durée de vie de l'installation.
2	Défaillance rarement apparue sur du matériel similaire existant en exploitation (exemple un défaut par an).
3	Défaillance occasionnellement apparue sur du matériel similaire existant en exploitation (exemple : un défaut par trimestre).
4	Défaillance fréquemment apparue sur un composant connu ou sur du matériel similaire existant en exploitation (exemple : un défaut par mois)

(1): L'indice de fréquence F est établi pour chaque association composant, mode, cause.

Tableau III.11. Indice de gravité G

Valeurs de G	Gravité de la défaillance (1)
1	Défaillance mineure: aucune dégradation notable du matériel (exemple: $TI \leq 10$ min).
2	Défaillance moyenne nécessitant une remise en état de courte durée (exemple: $10 \text{ min} < TI \leq 30 \text{ min}$).
3	Défaillance majeure nécessitant une intervention de longue durée (exemple $30 \text{ min} < TI \leq 90 \text{ min}$).
4	Défaillance catastrophique très critique nécessitant une grande intervention (exemple $TI > 90 \text{ min}$).
5	Sécurité/Qualité: accident pouvant provoquer des problèmes de sécurité des personnes, lors du dysfonctionnement ou lors de l'intervention.

(1): L'effet de la défaillance s'exprime en terme de durée d'arrêt. **TI** : Temps d'interruption.

Tableau III.12. Indice de non détection D

Valeurs de D	Non détection de la défaillance (1)
1	Les dispositions prises assurent une détection totale de la cause initiale ou du mode de défaillance, permettant ainsi d'éviter l'effet le plus grave provoqué par la défaillance pendant la production.
2	Il existe un signe avant-coureur de la défaillance mais il y a risque que ce signe ne soit pas perçu par l'opérateur. La détection est exploitable.
3	La cause et/ou le mode de défaillance sont difficilement décelables ou les éléments de détection sont peu exploitables. La détection est faible.
4	Rien ne permet de détecter la défaillance avant que l'effet ne se produise : il s'agit du cas sans détection.

(1): Signes avant-coureurs: bruit, vibration, accélération, jeu anormal, échauffement, Visuel.

III.12.Définition des actions correctives:[III.5]

- ❖ description des actions correctives à mettre en œuvre pour remédier définitivement aux défaillances.
- ❖ Estimation de la criticité après application des actions correctives.

III.13.Cas d'application :[III.8]

L'AMDEC est particulièrement destinée aux constructeurs (AMDEC prévisionnelle) et aux utilisateurs des machines (AMDEC opérationnelle).

III.13.1. AMDEC prévisionnelle :

En phase de conception, pour vérifier certains points particuliers (éléments nouveaux, spécifiques ou complexes) dont on connaît mal le comportement.

Elle permet l'amélioration de la conception de la conception, la validation d'une solution technique par apport à un cahier des charges ou une exigence spécifique, la mise à plat des dispositions d'assurance qualité, la préparation d'un plan de maintenance ; on la met en pratique quand les composants sont définis, avant que les plans de détail ne soient figés.

III.13.2. AMDEC opérationnelle :

En période d'exploitation, pour améliorer le comportement d'un matériel critique, pour mettre au point le plan de maintenance d'une nouvelle solution installation ou pour optimiser des actions de maintenance (choix, procédures, stocks). cependant L'AMDEC n'est pas un outil universel. Ainsi la méthode ne permet pas de prendre en compte les combinaisons de plusieurs défaillances .d'autres méthodes peuvent alors être utilisées en complément (arbre de défaillance, méthode de combinaison de pannes...) de plus les conséquences des erreurs humaines sont mal prises en compte .enfin, L'AMDEC n'est pas adaptée à l'analyse des logiciels.

III.14.Conclusion de l'étude AMDEC

Le calcul de la criticité faite par le produit des notes G.F.D montre si le seuil de criticité acceptable ou non. Permettant la hiérarchisation et la mise en place d'action corrective peut être définie comme suite :

- ❖ $C < 12$: Aucune modification maintenance corrective.
- ❖ $12 < c < 24$: acceptable, remise en cause de l'étude et/ ou maintenance préventive systématique et pièce de rechange associés.

- ❖ C>24 : Non acceptable, surveillance particulière, maintenance préventive conditionnelle et pièce de rechange associée.

Remarque :

On note les éléments puis on les place dans un tableau.

Tableau III.13. Tableau de criticité

C<12	
12<C <24	
C>24	

III.15.Exemple d'une fiche AMDEC[III.5]

Tableau III.14. Feuille d'analyse AMDEC

AMDEC – Moyen de production											
Fournisseur :			Rédacteur :			Indices de criticité				Actions correctives	
Système :			Service :								
Sous système :			Date :								
Ref :											
Composant	Fonctions	Modes de défaillance	Causes	Effets	Détection	Ti	F	G	D	C	Actions

III.15.1. Tableau AMDEC de la presse 1600T

Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause	Effets	Détection	F	G	D	C	Action corrective
Tracteur de filage	-permet de guider et de maintenir le profilé en tension pendant l'opération de filage. -tirer les profilés extrudés	-défaillance de réducteur de vitesse -défaillance de mécanisme du traction des mâchoires de tracteur	- détérioration des dents des engrenages -manque de Lubrification	-le tracteur reste fixe -déformation des profilés	-visuel	2	3	2	12	-réglage et ajustement de la chaîne

<p>Four à billettes</p>	<p>-chauffer la billette entre 450 et 500 c°</p>	<p>-blocage de convoyeur à chaîne -absence de combustion dans le four</p>	<p>-détérioration de la chaîne -défaut dans le mélangeur gaz-air</p>	<p>-diminution de la(T) de billette -la billette Ne sorte pas de four</p>	<p>-visuel -thermocouple</p>	<p>3</p>	<p>4</p>	<p>2</p>	<p>24</p>	<p>-réglage + ajustement de la chaîne - réparation de la porte de four -réparation de thermocouple</p>
<p>Table de refroidissement</p>	<p>refroidissement rapidement le produit pour procéder aux phases d'enrobage et d'emballage.</p>	<p>-Blocage -Court-circuit -Défaut roulements -Vibration</p>	<p>-Défaut électrique -Manque l'eau de refroidissement</p>	<p>-Arrêt de la ligne -Déréglage vérin de conteneur</p>	<p>-visuel -bruit</p>	<p>2</p>	<p>3</p>	<p>1</p>	<p>6</p>	<p>-Lubrification -Alignement -Réparation -Changement</p>

Cisaille à billettes à chaud	-couper la billette à une longueur bien définie	-corrosion de la scie -défaillance dans le mécanisme monte et de descente de la scie	-billette froide *absence d'huile -défaut dans la boîte électrique de commande	-bruit anormal -le cisaille reste immobile	-visuel	3	4	2	24	-réparation de vérin -réparation de scie
Table de chargement	- placer l'assemblage Grain-billette entre la tige et le conteneur	-reste immobile	-détérioration de l'un des deux segments de Chargeur	-le profilé ne sorte pas de la presse	-visuel	1	3	1	3	-alignement+ moulage du chargeur

III.15.2.Choix de la politique de maintenance

Le calcul de la criticité faite par le produit des notes G.F.D montre si le seuil de criticité acceptable ou non. Permettant la hiérarchisation et la mise en place d'action corrective peut être définie comme suite :

$C < 12$	3-5
$12 < C < 24$	1-2-4
$C > 24$	

Maintenance corrective :

- Table de refroidissement
- Table de chargement

Maintenance préventive systématique :

- Tracteur de filage
- Four à billettes
- Cisaille à billettes à chaud

Chaque mode de défaillance identifié dans le tableau AMDEC est caractérisé par sa criticité qui permet d'établir l'ordre des priorités des actions correctives à entreprendre.

Après l'analyse des modes de défaillance de la presse 1600T on a pu hiérarchiser les différents défaillances selon leur importance et on a pu constater que les éléments suivants : **Tracteur de filage**, **Four à billettes**, **Cisaille à billettes à chaud** avec les indices de criticité respectivement **12**, **24**, **24** sont les plus critiques que les autres éléments.

Afin d'envisager les remèdes possibles pour éradiquer toutes les causes des défaillances, en assurant la disponibilité et la fiabilité du système en même temps. Alors il faut bien faire une étude propre à chaque sous ensemble pour bien comprendre son comportement pathologique.

III.16.Conclusion

Dans ce chapitre on a appliqué une méthode d'analyse de la Maintenance intégrée qui est l'analyse AMDEC qui permet à l'entreprise (Algal(+)) d'utiliser une politique de Maintenance adéquate et efficace qui réalise les objectifs désirés.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

La maintenance est l'ensemble des actions permettent de maintenir ou rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure un service déterminé.

Le travail que l'on a accompli dans le cadre de ce mémoire est conforme aux objectifs que l'on s'était fixé à savoir une recherche bibliographique.

Dans notre travail, nous avons choisi une machine de rôle important dans l'entreprise **Algal plus** qui s'appelle **la presse 1600T**.

On a extrait leur historique de panne pour déterminer les paramètres de la SDF tel que fiabilité, disponibilité et maintenabilité.

Pour représenter les résultats, nous avons utilisé un logiciel **LOG-LAALA**; il nous permet de simuler la fiabilité, la densité de probabilité et la taux de défaillance.

D'après les résultats obtenus, on voit que la fiabilité de la machine est un peu faible à cause de la progressivement du temps d'arrêt.

Pour améliorer la fiabilité de la presse, nous avons appliqués l'analyse AMDEC qui permet d'identifier les modes et les causes de défaillance des composantes de la presse et de proposer des actions de maintenance sur ces derniers, afin d'évoluer le temps de bon fonctionnement et la fiabilité et la disponibilité.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

Introduction

[1] : **AISSA BENHAMED**

«gestion des risques, analyse et évaluation par la maintenance intégré »application «moulières el HONDA M'sila» Mémoire d'ingénieur d'état en électromécanique, université de M'sila, 2009/2010

Chapitre I

[I.1] : "**Manuel de maintenance**", NAPHTOGAZ, HMD, (2001).

[I.2] **TOUAMA Elhadj**, « Evaluation des performances de la maintenance des systèmes de production » Mémoire de Master en génie électrique, université de M'sila, Juin 2014.

[I.3] : **M. KADI**, **Etude et amélioration FMD d'une motopompe centrifuge**, Mémoire de master professionnel, Université de Ouargla, (2014).

[I.4] **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

Chapitre II

[II.1] **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

[II.2] **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

[II.3] <http://www.techniques-ingenieur.fr>

[II.4] **Jean .B** « la TPM : un système de production » Technologie (SCEREN - CNDP) – Revue Française de gestion Industrielle, Paris, avril 2008.

[II.5] **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.

[II.6] **Cours télécharger**, <http://www.commentcamarche.org>

[II.7] **NICOLAS TERRIER**, « la maintenance», domaine universitaire 38041 grenoble cedex 9 année 2002.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[II.8] **BOUANAKA MOHAMED LARBI**, « contribution a l'amélioration des performances opérationnelles des Machines industrielles » Mémoire de magister, université de Constantine 2008

[II.9] **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.

[II.10] **Ingexpert**, « Fiabilisation des équipements » 2005/2006

[II.11] **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

[II.12] : <http://www.maintenance-preventive.com/methode-presentation-1.html>

[II.13] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Arbre de défaillance](https://fr.wikipedia.org/wiki/Arbre_de_défaillance).

Chapitre III

[III.1] BRAHIM HERROU, Mohamed ELGHORBA: L'AMDEC un outil puissant d'optimisation de la maintenance, application à un moto-compresseur. . 2005.

[III.2] Ali BENGUESMIA , BELHOUT Nacer «Évolution du rendement d'un système électromécanique par la réduction de probabilité de défaillance », mémoire de master maintenance industrielle Université de m'sila 2018/2019

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME
DE MASTER EN GENIE ELECTRIQUE
SPECIALITE : INGENIERIE DES SYSTEMES
ELECTROMECHANIQUES**

Proposé et dirigé par : Dr. Mabrouk DEFDAF

Présenté par : Salah AHMED
Aljammal MAHDEE

Thème :
**Établissement d'un plan de maintenance
du système de production**

Résumé :

La maintenance est un facteur de compétitivité puisqu'elle influe sur l'outil de production (les machines industrielles) dans l'entreprise, la qualité et le coût de revient.

Dans cette optique la maintenance permet de développer de nouvelles stratégies visant à augmenter le rendement des moyens de production au moindre coût.

Dans ce travail, nous avons utilisé un logiciel **LOG-LAALA** ; il nous permet de simuler la fiabilité, la densité de probabilité et le taux de défaillance pour représenter les résultats.

Mots clés :

Maintenance, fiabilité, AMDEC, SDF, Disponibilité, LOG-LAALA.

