

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Ibn Khaldoun de Tiaret

Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie Mécanique



MÉMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Electromécanique

Parcours : Master

Spécialité : Maintenance Industrielle

Thème

Etude quantitative et qualitative de la
maintenance pour une ligne de
production - au niveau de société de fonderie Tiaret

Préparé par :

BENAHMED Bachir Azeddine

GUIDOUM Belkacem

Soutenu publiquement le : 22 / 06 / 2023, devant le jury composé de :

M. BENARBIA Djamil	Maître de Conférences "A" (Univ. Ibn Khaldoun)	Président
M. BENAMAR Badr	Maître de Conférences "A" (Univ. Ibn Khaldoun)	Examineur
M. MAKHFI Souad	Maître de Conférences "A" (Univ. Ibn Khaldoun)	Examineur
M. MAZARI Djamel	Maître de Conférences "A" (Univ. Ibn Khaldoun)	Encadrant

Remerciements

Je remercie en premier lieu « DIEU » tout puissant pour m'avoir donné et la volonté d'accomplir ce modeste travail.

Nous tenons, en deuxième lieu à saisir cette occasion et adresser nos Profonds remerciements et nos profondes reconnaissances à notre Encadreur Dr. MAZARI Djamel non seulement pour son encadrement Mais également pour son dévouement pour réaliser ce travail.

Nos vifs remerciements aux membres du jury, sans lesquels notre soutenance n'aurait pas pu avoir lieu, et aussi pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail, en acceptant d'examiner notre mémoire et de l'enrichir par leurs propositions.

Nous tenons évidemment à remercier les membres du FOT Tiaret pour leurs aide très précieuse et les nombreux conseils qu'ils nous prodigués tout au long de ce travail.

Enfin Nous aimerions exprimer notre reconnaissance à toutes les personnes qui ont apporté leurs concours à l'élaboration de ce travail.

DEDICACE

الحمد لله الذي أنشأ و برى
و خلق الماء و الثرى
و أبدع كل شيء و برى

" قال تعالى "و قل إعملوا فسيرى الله عملكم و رسوله و المؤمنون
بادئا ببده الحمد الله الذي فضله تتم الصالحات

الشكر و العرفان ليس لهما مجلس أمام هذا الملى
و أمام ملى الغيب
اتقدم بأفنى عبارات الشكر و أبهاها إلى العائلة الكريمة

و إلى أبي رحمه الله
نَمْ قَرِيرُ الرُّوحِ
غَرِيرُ الفَرَحِ .. وَ تَوَسَّدَ بِأَحَانِكَ وَ أَمَانِكَ طيب الله جنانك

..و إلى أمي سندي و أخي عضدي
و إلى كل من ساهم في هذا العمل و إلى أصدقائي

SOMMAIRE

Remerciements

Dédicace

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des Abréviations

Introduction Générale ----- 1

Chapitre I : générales sur la maintenance

I.1. Introduction ----- 2

I.2. Place de la maintenance dans la structure générale ----- 2

I.3. La politique de maintenance ----- 3

I.4. Les objectifs de la maintenance ----- 4

I.5. Gestion de la maintenance ----- 5

I.5.1. Principe de la gestion ----- 5

I.5.2. Aspects de l'entretien ----- 6

I.5.3. Démarche de la maintenance ----- 6

I.6. Les méthodes de la maintenance ----- 7

I.6.1. La maintenance corrective ----- 8

I.6.1.1. Le temps en maintenance corrective ----- 8

I.6.1.2. Les opérations de maintenance corrective ----- 8

I.6.2. La maintenance préventive ----- 9

I.6.2.1. Objectifs de la maintenance ----- 9

I.6.2.2. La maintenance préventive systématique ----- 10

I.6.2.3. La maintenance préventive conditionnelle ----- 10

I.6.2.4. Opérations de la maintenance préventive ----- 11

I.6.3. La maintenance améliorative ----- 12

I.6.3.1. Objectifs de la maintenance améliorative ----- 12

I.6.3.2. Opérations de la maintenance améliorative ----- 12

I.7. Les niveaux de maintenance ----- 13

I.8. Les outils de la maintenance industrielle ----- 15

I.8.1. La méthode Pareto (ABC) ----- 15

I.8.2. La méthode AMDEC ----- 15

I.8.3. La méthode ARBRE DE Défaillance ----- 16

I.8.4. La méthode 5M ----- 17

I.9. Conclusion	17
------------------------------	----

Chapitre II : Méthode Qualitative et Quantitative

II.1. Introduction	18
II.2. Méthode Quantitative	18
II.2.1. Analyse quantitative des défaillances	18
II.2.3. Concepts fondamentaux	19
II.2.3.1. Fiabilité	19
II.2.3.1.1. Les principales lois	21
II.2.3.1.1.1. Lois discrètes	21
II.2.3.1.1.2. Lois continues	22
II.2.3.2. La Maintenabilité	25
II.2.3.3. Disponibilité	26
II.2.3.2.1. Types de disponibilité	27
II.3. Méthode Qualitative	29
II.3.1. Analyse Qualitative de défaillance	30
II.3.2. Méthode ABC	30
II.3.3. Méthode AMDEC	30
II.3.4. Arbre de défaillance	35
II.3.5. Diagramme Cause-Effets	36
II.4. Conclusions	37

CHAPITRE III : Analyse quantitative et qualitative d'une ligne de production

III.1. Introduction	38
III.2. Présentation de l'entreprise FOT	38
III.2.1. Historique	38
III.2.2. Certification au système Management Intégré	39
III.2.3. Fiche d'identité	39
III.2.4. Moyens de l'entreprise	40
III.2.5. Organisation de la filiale FOT	42
III.2.6. Les différents ateliers	44
III.2.7. L'unité de la fonderie de fonte	44
III.2.8. La Line de production	47
III.3. Présentation d'historique des pannes d'un line de production	47
III.3.1. Méthode d'analyse prévisionnelle de Pareto	48
III.4. Historique des pannes de four a arc	50

III.4.1 Identification des composants du four à arc -----	53
III.5. Analyse AMDEC -----	55
III.5.1 Plan de la maintenance préventive -----	60
III.6. L'analyse FMD -----	61
III.6.1. Fiabilité opérationnelle -----	61
III.6.2. Fiabilité prévisionnelle-----	63
III.6.2.1 Calcule les paramètres de Weibull -----	63
III.6.2.2. Exploitation des paramètres de Weibull -----	65
III.6.2.3. Étude du modèle de Weibull -----	67
III.7. Conclusion -----	72
Conclusion générale -----	73
Annexe -----	74
Résumé-----	76
Bibliographie -----	77

LISTE DES FIGURES

Chapitre I Généralité de maintenance

Figure I.1 Schéma de la place de la maintenance dans la structure globale -----3

Figure I.2 Les méthodes de la maintenance -----6

Chapitre II : Méthode Qualitative et Quantitative

Figure II.1 Analyse des temps -----18

Figure II.2 Sureté de fonctionnement FMD -----19

Figure II.3 Evolution du taux de défaillance d'un système -----21

Figure II.4 Taux de défaillance de la loi de Weibull, $\lambda = 1$ -----24

Figure II.5 organigramme sur la maintenabilité -----25

Figure II.6 La courbe ABC 31

Figure II.7 Symbolisme des arbres de défaillances -----36

Figure II.8 Diagramme d'Ishikawa -----37

Chapitre III : Analyse quantitative et qualitative d'une ligne de production

Figure III.1 Organisation de la filiale SPA -----41

Figure III.2 Atelier de fusion de la fonte -----42

Figure III.3 Atelier de sablerie -----43

Figure III.4 Atelier de moulage -----43

Figure III.5 Atelier d'ébarbage de fonte -----44

Figure III.6 La Line de production -----45

Figure III.7 Diagramme de Pareto (ou méthode ABC) -----48

Figure III.8 Décomposition fonctionnelle de four a arc -----53

Figure III.9 courbe de $F(t)$, $R(t)$ -----63

Figure III.10 courbe présente l'évolution de la fonction de taux de défaillance $\lambda(t)$ 65

Figure III.11 La représentation graphique de la fonction de répartition sur le papier de Weibull -----68

Figure III.12 La Courbe de La fonction de la densité de probabilité -----69

Figure III.13 La Courbe de Fonction Répartition -----70

Figure III.15 courbe du taux de défaillance $\lambda(t)$. -----72

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I Généralité de maintenance

Tableau I.1 tableau de niveau	14
-------------------------------	----

Chapitre II Méthode Qualitative et Quantitative

Tableau II.1 Calcul du taux de défaillance	25
Tableau II.2 Disponibilité opérationnelle	27
Tableau II.3 de décomposition temporelle	28
Tableau II.4 la criticité C.	35
Tableau II.5 Fréquence F.	35
Tableau II.6 Gravité G.	36
Tableau II.7 Non détection D.	36

Chapitre III: Analyse quantitative et qualitative d'une ligne de production

Tableau III.1 moyens humains	25
Tableau III.2 Historique des pannes	31
Tableau III.3 Cumul nombre de défaillance	32
Tableau III.4 Historique des pannes de four a arc	34
Tableau III.5 AMDEC machine du four à arc électrique.	41
Tableau III.6 les valeurs de $F(t)$, $R(t)$ et $\lambda(t)$.	46
Tableau III.7 les valeurs de $F(t)$ en %	48
Tableau III.8 Paramètres de calcul de la fiabilité	49
Tableau III.9 Calcul de la fonction de la densité de probabilité.	51
Tableau III.10 Calcul la Fonction Répartition.	52
Tableau III.11 Calcul de la fiabilité	54
Tableau III.12 Calcul du taux de défaillance	55

LISTE DES ABREVIATIONS

AFNOR : Association de normalisation française

SAV : Service avant vendre

FMD : Fiabilité, Maintenabilité et Disponibilité

MTBF : (Mean Time Between Failures) c'est la moyenne des temps de bon fonctionnement entre deux défaillances

MTTR : (Mean Time To Repair) c'est le temps moyen mis pour réparer le système.

$\lambda(t)$: Taux de défaillance.

TBF : Temps de Bon Fonctionnement entre deux défaillances.

TTR : Le temps mis pour réparer le système.

$f(t)$: Densité de probabilité

$F(t)$: La fonction de répartition.

$R(t)$: La fonction de fiabilité

$M(t)$: Fonction maintenabilité.

$D(t)$: Fonction de disponibilité.

$\mu(t)$: Taux de réparation.

FMD : Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité.

Di : Disponibilité intrinsèque.

β : Paramètres de forme.

γ : Paramètre de position

η : Paramètre d'échelle.

MDT : (Mean Down Time) c'est la durée moyenne d'indisponibilité ou de défaillance.

Introduction Générale

Introduction Générale

Le développement économique de la dernière décennie a accru la concurrence entre les industries. Cette concurrence s'étend à l'international et se caractérise par des implantations d'entreprises partout dans le monde, parfois dans un même pays pour des raisons économiques et logistiques. Dans le secteur industriel, les évolutions technologiques ont contribué à améliorer la situation des entreprises industrielles en termes de fiabilité et d'intervention réduite. Cette amélioration va de pair avec la bonne gestion des outils et des moyens techniques et le besoin de personnel de plus en plus spécialisé. Dans l'industrie, l'optimisation de la maintenance repose sur la connaissance de la fiabilité des équipements et de bonnes politiques de maintenance. L'application de ces directives a permis d'améliorer considérablement les performances triangulaires (coût, qualité, temps) des systèmes industriels. C'est pourquoi des solutions pragmatiques sont essentielles. La réparation fiable des appareils défectueux nécessite non seulement des solutions techniques, mais également des solutions stratégiques et méthodiques. A cet égard, il est important d'utiliser les critères d'efficacité de ces méthodes, qui dépendent à la fois du profit et de l'économie, et du degré de fiabilité. Ces critères affectent donc non seulement la disponibilité et la productivité de la production, mais également les coûts de maintenance. Les technologies et disciplines liées aux données permettent de répondre aux besoins de gestion de la sécurité et de production de services tout en optimisant les coûts et les temps de maintenance.

La maintenance des équipements de production est un facteur important pour la productivité des usines et la qualité des produits. Il s'agit d'un défi industriel qui consiste à remettre en question les structures fixes existantes et les méthodes de conduite adaptées aux nouvelles propriétés des matériaux. Dans ce contexte, s'inscrit cette étude quantitative et qualitative de la maintenance appliquée sur une ligne de production réelle dans un atelier de fabrication de la société FOT (Fonderie de Tiaret), cette étude servira comme outil d'aide pour l'amélioration des opérations de maintenance actuelles pour cette entreprise.

L'étude quantitative de la maintenance est introduite par l'analyse de la fiabilité, de la maintenabilité et de la disponibilité (F.M.D) des équipements de la ligne. Elle est réalisée sur la base de l'historique des temps de bon fonctionnement, des temps d'arrêt et des temps de disponibilité à l'arrêt. L'analyse quantitative d'un historique va permettre de dégager des actions d'amélioration, donc d'identifier les défaillances à approfondir afin de les corriger et les prévenir. Analyser quantitativement les résultats des diagnostics des équipements

permet de cibler l'élément le plus critique de la ligne de production, et cela par l'utilisation de la méthode ABC qui met en évidence les éléments les plus importants d'un problème afin de faciliter les choix et les priorités et elle est très utile pour déterminer les urgences ou les tâches les plus rentables. Puis nous concentrons l'étude sur ce élément, en appliquant une discipline de management tel que l'AMDEC-Processus (analyse de mode de défaillance du processus, leurs effets et leur criticité).

Notre manuscrite est structuré en trois chapitre comme suit :

Le premier chapitre est dédié aux concepts généraux sur la maintenance, définitions, objectifs, types, méthodes et niveaux. Dans le second chapitre, nous avons illustré les analyses quantitatives et qualitatives qui sont actuellement utilisé pour déterminer les défaillances fréquentes des équipements où nous avons bien détaillé les notions de la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité, y compris les méthodes ABC et AMDEC.

Pour le troisième chapitre, nous avons débuté ce dernier par la présentation de l'entreprise FOT Tiaret où nous avons étudié la ligne de production situé dans ces ateliers de fonderie. Cette analyse quantitative et qualitative touche toute une série des équipements installés dans la ligne de production, et par conséquence nous avons tiré l'élément critique dans cette chaine de fabrication qui le four à arc électrique où la détermination des modes de défaillances de ses organes et leurs causes sont présenté par le tableau d'AMDEC suivi par un plan de maintenance pour ce four.

Chapitre I
Généralité sur la
maintenance

I.1. Introduction

Le maintien des équipements de production est un enjeu clé pour la productivité des usines aussi bien que pour la qualité des produits. C'est un défi industriel impliquant la remise en cause des structures figées actuelles et la promotion de méthodes adaptées à la nature nouvelle des matériels. [1]

Définition

D'après l'AFNOR (NF X 60-010) : La maintenance est un ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé. Bien maintenir, c'est assurer ces opérations au coût optimal

La maintenance industrielle peut se définir comme le fait de maintenir ou de rétablir un équipement de production dans un état défini en amont afin que celui-ci soit en mesure d'assurer le service prévu. Lorsqu'une entreprise installe un système pour maintenir ses équipements de production, cela lui permet de prévenir un grand nombre de problèmes et de diminuer les pertes de productivité. [2]

I.2. Place de la maintenance dans la structure générale

Actuellement toute Intervention d'entretien à besoin, en tant que tout processus de fabrication d'être pensé avant d'être réalisé, pour cela le service de maintenance doit solliciter expressément une organisation des moyens à mettre en œuvre pour la réutilisation de ses tâches afin de pratiquer systématiquement les différents types d'entretien.

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

- ❖ Centralisation où toute la maintenance est assurée par un service
- ❖ Décentralisation, où tout le service de maintenance est dépossédé de certaines responsabilités.

C'est la maintenance générale de la fabrication qui passe le contrôle des services de production et de fabrication.

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

L'objet de la décentralisation est de mieux cerner les frais réels de maintenance par postes de travail.

Son inconvénient est de conduire à l'application de plusieurs politiques de maintenance éventuellement contradictoires.

Dans les deux cas, le service de maintenance dépendra hiérarchiquement de la direction de l'entreprise ou d'une direction technique, mais il est nécessaire, pour que les équipements fonctionnent en toute performance, d'étoffer la maintenance. Ce service doit être décentralisé (indépendant), posséder son propre budget et le gérer lui-même parce que de par son importance, il représente des dépenses très lourdes qu'on doit connaître et bien dissocier des frais généraux, sans cela, les pertes de production en cas de défaillance seront imputables à des insuffisances du service entretien.

- ❖ Le service de maintenance, devient une interface entre toutes les entités qui composent l'entreprise [3]

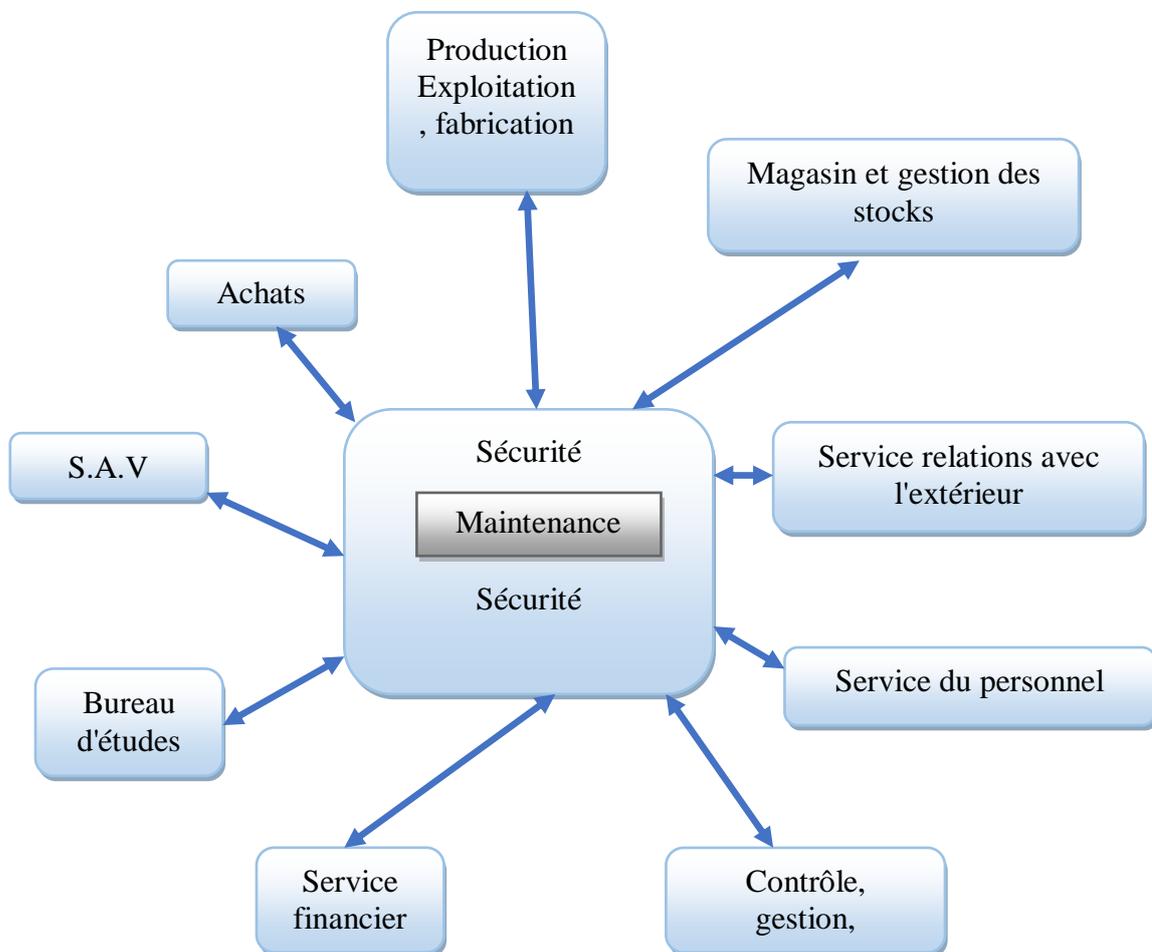


Figure I.1: Schéma de la place de la maintenance dans la structure globale [3]

I.3. La politique de maintenance

La politique de maintenance consiste à fixer les orientations (méthode, programme, budget, etc.) dans le cadre des objectifs fixés par la direction de l'entreprise. La politique de maintenance conduit, en particulier, à faire des choix entre :

- Maintenance préventive et/ou corrective, systématique ou conditionnelle
- Maintenance internalisée et/ou externalisée
- Politique d'approvisionnement en pièces de rechange
- Développement des ressources humaines
- Management qualité de la fonction maintenance
- Établissement du système sécurité, etc.

Définitions

- La stratégie de maintenance c'est une méthode de management utilisée en vue d'atteindre les objectifs de maintenance (norme NF EN 13306).

La stratégie de maintenance, qui résulte de la politique de maintenance, impose des choix pour atteindre les objectifs fixés.

Ces choix sont à faire pour :

- Développer, adapter ou mettre en place des méthodes de maintenance
- Élaborer et optimiser les gammes de maintenance
- Établir les standards de travail
- Définir les méthodes et moyens de sécurité
- Établir des flux d'informations (Flow Charts)
- Organiser les équipes de maintenance
- Gérer les stocks et les optimiser
- Gérer les ressources humaines de la maintenance : sélection, recrutement, formation, communication, motivation, etc.

On peut donc considérer les formes de maintenance (corrective, systématique, conditionnelle prévisionnelle, de routine et améliorative) comme des stratégies de maintenance. [4]

I.4. Les objectifs de la maintenance

Les principaux objectifs que doit se fixer la fonction maintenance sont :

- ❖ Améliorer la fiabilité du matériel : La mise en œuvre de la maintenance préventive nécessite les analyses techniques du comportement du matériel. Cela permet à la fois de pratiquer une maintenance préventive optimale et de supprimer complètement certaines défaillances.
- ❖ Garantir la qualité des produits : La surveillance quotidienne des machines est pratiquée pour détecter les symptômes de défaillance et veiller à ce que les paramètres

de réglages et de fonctionnement soient respectés. Le contrôle des jeux (vibrations) et de la géométrie de la machine permet d'éviter les aléas de fonctionnement. La qualité des produits est ainsi assurée l'absence des rebuts.

- ❖ Améliorer l'ordonancement des travaux : La planification des interventions de la maintenance préventive, correspondant au planning d'arrêt machine, devra être validée par le service production. Cela implique la collaboration de ce service, afin de faciliter la tâche de la maintenance. Les techniciens de maintenance sont souvent mécontents lorsque le responsable de production ne permet pas l'arrêt de l'installation, alors qu'il a reçu un bon de travail pour l'intervention. Une bonne coordination prévoit un arrêt selon un planning défini à l'avance prenant en compte les impossibilités en fonction des impératifs de production.
- ❖ Assurer les sécurités humaines : La préparation des interventions de maintenance préventive ne consiste pas seulement à respecter le planning, mais elle doit tenir compte aussi des critères de sécurité pour éviter les imprévus dangereux.
- ❖ Améliorer la gestion de stock : La maintenance préventive est planifiable. Elle maîtrise les échéances de remplacement des organes ou pièces, ce qui facilite la tâche de gestion des stocks. Elle permet aussi d'éviter de mettre en stock certaines pièces et ne les commander que le moment venu. [5]

I.5. Gestion de la maintenance

I.5.1. Principe de la gestion

Gérer c'est administré, dirigé, gouverné, exercer des fonctions de direction est de contrôle pour son propre compte ou pour le compte d'un autre.

Le processus de maintenance dans une installation industrielle c'est :

- ❖ Lui définir des objectifs chiffrés est mesurable.
- ❖ Définir les moyens à mettre en œuvre pour atteindre ses objectifs.

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

- ❖ Des spécifié de l'entreprise.
- ❖ De sa taille.
- ❖ Importance de l'entretien.
- ❖ Du degré d'information.

Mesurer les résultats, comparer les objectifs, analyser les écarts et décider sont des moyens du maître en œuvre pour corriger la déviation.

I.5.2. Aspects de l'entretien

La maintenance d'un bien a commencé avec le prix en compte, dès sa conception, des notions de fiabilité de maintenabilité, qui sont de plus en plus inscrites dans le cahier de charge.

Un équipement commencé par une évolution peu de temps après sa mise en service. Ces caractères, sa capacité de production, la qualité du travail, sont aussi des coûts d'exploitation peuvent diminuer.

Il est donc indispensable d'agir pour le rendre conforme à un état initial.

Plusieurs solutions s'offrent alors :

- Intervention du constructeur.
- Intervention d'une entreprise extérieure spécialisée.
- Intervention de service et de maintenance de l'entreprise.

I.5.3. Démarche de la maintenance

Les interventions sur des équipements sont nécessaires pour la conservation de leur bon état de fonctionnement il est donc possible de garder en mémoire :

- Les pannes qui ne sont pas présentées.
- Les coûts de remise en état.
- Le temps d'indisponibilité.
- Les coûts de perte de production pendant l'indisponibilité.
- Les modifications aux techniques de portage...etc.

Cette nécessité conduit à mettre en place pour chaque équipement un dossier qui se présente en 2 parties :

- ❖ Dossier technique
- ❖ Dossier Machine

- **Dossier Technique**

Il regroupe tout ce qui est propre à un modèle de machine données du constructeur, plans, schémas électriques, nomenclature... Il suffit donc un dossier technique par type de machine.

- **Dossier machine**

Relatif à chaque machine prise individuellement, le dossier machine regroupe les renseignements propres qui concernent cette machine (année de mise en service, montant d'investissement, configuration de fonctionnement, GRAFCET, GEMMA. [1])

I.6. Les méthodes de la maintenance

Le choix entre les méthodes de maintenance s'effectue dans le cadre de la politique de la maintenance et doit s'opérer en accord avec la direction de l'entreprise.

Pour choisir, il faut donc connaître :

- Les objectifs de la direction.
- Les directions politiques de maintenance.
- Le fonctionnement et les caractéristiques du matériel.
- Le comportement du matériel en exploitation.
- Les conditions d'application de chaque méthode.
- Les coûts de maintenance.
- Les coûts de perte de production.

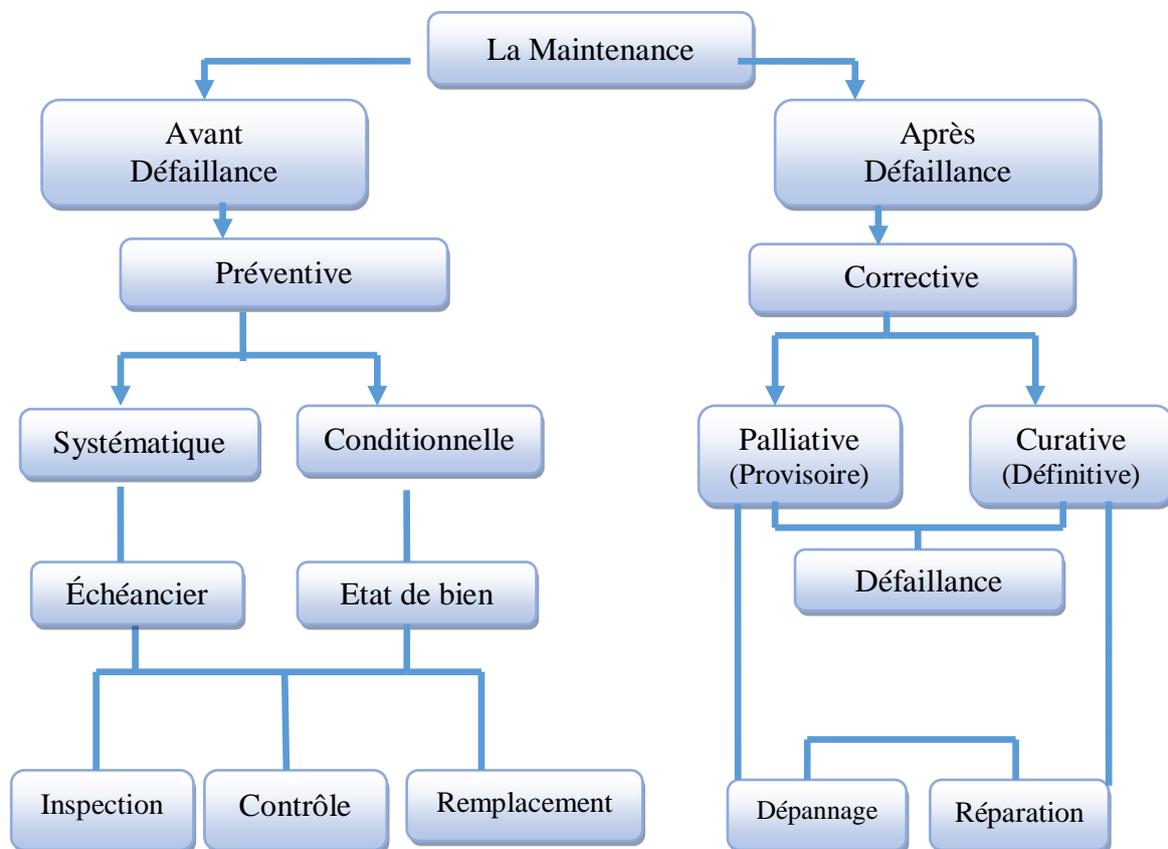


Figure I.2 : Les méthodes de la maintenance [6]

I.6.1. La maintenance corrective

Même s'il s'agit d'une improprement qualifiée de maintenance réactive, cette dénomination illustre malgré tout assez bien la logique de ce mode de maintenance. En maintenance corrective, il s'agit d'intervenir par réaction à un événement : fonctionnaliste, de haute qualité, rendu de base, panne partielle ou complétude.

Définition

La norme AFNOR X 60-010 donne la maintenance corrective comme : « Effet de la maintenance après panne >>.

Cette manière d'opérer est comparable à l'entretien traditionnel couramment pratiqué avant l'apparition de l'industrie de la maintenance. Ce n'est pas un pas d'anticipation, mais tout juste une surveillance de l'essentiel des opérations qui se limitent aux graissages et vidanges.

La maintenance corrective regroupe les opérations de visa à retirer en service d'un système défaillant. Ou une panne ne se produit jamais hors sollicitation du système, mais ces opérations permettent donc une reprise de la production dans les meilleurs délais.

Il est différent de ces aspects :

- ❖ **Les opérations palliatives** appelées dépannages, dont l'objectif est de supprimer les effets de la défaillance afin de reprendre la production. Elles ne sont pas de caractères définies.
- ❖ **Les opérations curatives** appelées réparations, dont l'objectif est de ramener le système à un niveau de performance donné. Elles forment la deuxième phase d'un dépannage [7]

I.6.1.1. Le temps en maintenance corrective

Les actions de maintenance corrective étant très diverses, il est toujours difficile de prévoir la durée d'intervention :

- ❖ Elle peut être faible (de quelques secondes pour réarmer un disjoncteur ou changer d'un fusible à quelques minutes pour changer un joint qui fuit).
- ❖ Elle peut être très importante (de 0,5h à plusieurs heures) dans le cas du changement de plusieurs organes simultanément (moteur noyé par une inondation).
- ❖ Elle peut être majeure en cas de mort d'homme (plusieurs jours si enquête de police). [8]

I.6.1.2. Les opérations de maintenance corrective

- ❖ **Le dépannage** : action sur un bien en panne, en vue de le remettre en état de fonctionnement. Compte tenu de l'objectif, une action de dépannage peut

s'accommoder de résultats provisoires et de condition de réalisation hors règles de procédures, de coûts et de qualité, et dans ce cas sera suivie de la réparation.

- ❖ **La réparation** : intervention définitive et limitée de maintenance corrective après panne ou défaillance. L'application de la réparation peut être décidée soit immédiatement à la suite d'un incident ou d'une défaillance, soit après un dépannage, soit après une visite de maintenance préventive conditionnelle ou systématique.

Remarque : la réparation correspond à une action définitive. L'équipement réparé doit assurer les performances pour lesquelles il a été conçu.

Tous les équipements sont concernés. [9]

I.6.2. La maintenance préventive

S'il est nécessaire de corriger les effets des défaillances afin d'assurer la continuité de la production, il est préférable de les prévenir afin de les éviter.

Définition

La norme AFNOR X 60-010 définit ainsi les maintenances préventives comme :

« Maintenances effectuées dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu »

Une opération de maintenance préventive est donc une intervention prévue préparée et programmée en fonction de différents paramètres en vue d'éviter l'apparition probable d'une défaillance identifiée [7]

I.6.2.1. Objectifs de la maintenance préventive

- Augmenter la durée de vie du matériel.
- Diminuer la probabilité des défaillances en service.
- Diminuer les temps d'arrêt en cas de révision ou de panne.
- Prévenir et aussi prévoir les interventions coûteuses de maintenance corrective.
- Permettre de décider la maintenance corrective dans de bonnes conditions.
- Éviter les consommations anormales d'énergie, de lubrifiant, etc. . . .
- Améliorer les conditions du travail du personnel de production.
- Diminuer le budget de maintenance.
- Supprimer les causes d'accidents graves.

I.6.2.2. La maintenance préventive systématique

C'est la maintenance préventive effectuée selon un échéancier établi selon le temps ou le nombre d'unités d'usage. Même si le temps est l'unité la plus répandue, d'autres unités peuvent être retenues.

Telles que : la quantité, la longueur et la masse des produits fabriqués, la distance parcourue, le nombre de cycles effectués, etc. Cette périodicité d'intervention est déterminée à partir de la mise en service ou après une révision complète ou partielle.

Cette méthode nécessite de connaître :

- Le comportement du matériel.
- Les modes de dégradation.
- Le temps moyen de bon fonctionnement entre 2 avaries.

Cas d'application :

- ❖ Equipements soumis à une législation en vigueur (sécurité réglementée) : appareils de levage, extincteurs, réservoirs sous pression, convoyeurs, ascenseurs, monte-charge, etc...
- ❖ Equipements dont la panne risque de provoquer des accidents graves : tout matériel
- ❖ Assurant le transport en commun des personnes, avions, trains, etc. . . .
- ❖ Equipement ayant un coût de défaillance élevé : éléments d'une chaîne de production automatisée, processus fonctionnant en continu (industries chimiques ou métallurgiques).
- ❖ Equipements dont les dépenses de fonctionnement deviennent anormalement élevées au cours de leur temps de service : consommation excessive d'énergie, éclairage par lampes usagées, allumage et carburation déréglés (moteurs thermiques), etc. . . .

I.6.2.3. La maintenance préventive conditionnelle

On l'appelle aussi maintenance prédictive (terme non normalisé). C'est la maintenance préventive subordonnée à un type d'événement prédéterminé (auto diagnostic, information d'un capteur, mesure d'une usure, etc....). La maintenance conditionnelle est donc une maintenance dépendante de l'expérience et faisant intervenir des informations recueillies en temps réel. Elle se caractérise par la mise en évidence des points faibles. Suivant le cas, il est souhaitable de les mettre sous surveillance et, à partir de là, de décider d'une intervention lorsqu'un certain seuil est atteint. Mais les contrôles demeurent systématiques et font partie des moyens de contrôle non destructifs. Tout le matériel est concerné ; cette maintenance préventive conditionnelle se fait par des mesures pertinentes sur le matériel en fonctionnement.

Les paramètres mesurés peuvent porter sur :

- Le niveau et la qualité de l'huile.
- Les températures et les pressions.
- La tension et l'intensité du matériel électrique.
- Les vibrations et les jeux mécaniques.
- Le matériel nécessaire pour assurer la maintenance préventive conditionnelle devra être fiable pour ne pas perdre sa raison d'être. Il est souvent onéreux, mais pour des cas bien choisis, il est rentabilisé rapidement. [8]

I.6.2.4. Opérations de la maintenance préventive

Ces opérations trouvent leurs définitions dans la norme NF X 60-010 et NF EN 13306.

❖ Inspections

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.

❖ Visites

Opérations de surveillance qui, dans le cadre de la maintenance préventive systématique, s'opèrent selon une périodicité déterminée. Ces interventions correspondent à une liste d'opérations définies préalablement qui peuvent entraîner des démontages d'organes et une immobilisation du matériel. Une visite peut entraîner une action de maintenance corrective.

❖ Contrôles

Vérifications de conformité par rapport à des données préétablies suivies d'un jugement. Le contrôle peut

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

❖ **Les opérations de surveillance** (contrôles, visites, inspections) sont nécessaires pour maîtriser l'évolution de l'état réel du bien. Elles sont effectuées de manière continue ou à des intervalles prédéterminés ou non, calculés sur le temps ou le nombre d'unités d'usage. [9]

I.6.3. La maintenance améliorative

L'amélioration des biens d'équipement est un « ensemble des mesures techniques, administratives et de gestion, destinées à améliorer la sûreté de fonctionnement d'un bien sans changer sa fonction requise » (norme NF EN 13306). On apporte donc des modifications à la conception d'origine dans le but d'augmenter la durée de vie des composants, de les standardiser, de réduire la consommation d'énergie, d'améliorer la maintenabilité, etc...

C'est une aide importante si l'on décide ensuite de construire un équipement effectuant le même travail mais à la technologie moderne : on n'y retrouvera plus les mêmes problèmes.

I.6.3.1. Objectifs de la maintenance améliorative

La maintenance améliorative est un état d'esprit nécessitant un pouvoir d'observation critique et une attitude créative. Un projet d'amélioration passe obligatoirement par une étude économique sérieuse : l'amélioration doit être rentable. Tout le matériel est concerné, sauf bien sûr, le matériel proche de la réforme.

Les objectifs sont :

- L'augmentation des performances de production.
- L'augmentation de la fiabilité.
- L'amélioration de la maintenabilité.
- La standardisation de certains éléments ou sous-ensemble,
- L'augmentation de la sécurité des utilisateurs.

I.6.3.2. Opérations de la maintenance améliorative

❖ Rénovation

C'est l'inspection complète de tous les organes, la reprise dimensionnelle complète ou le remplacement des pièces déformées, la vérification des caractéristiques et éventuellement, la réparation des pièces et sous-ensembles défectueux. [8]

C'est donc une suite possible à une révision générale. Une rénovation peut donner lieu à un échange standard.

❖ Reconstruction

« Action suivant le démontage du bien principal et remplacement des biens qui approchent de la fin de leur durée de vie et/ou devraient être systématiquement remplacés ».

La reconstruction diffère de la révision en ce qu'elle peut inclure des modifications et/ou améliorations. L'objectif de la reconstruction est normalement de donner à un bien une vie utile qui peut être plus longue que celle du bien d'origine. La reconstruction impose le remplacement de pièces vitales par des pièces d'origine ou des pièces neuves équivalentes. [8]

La reconstruction peut être assortie d'une modernisation ou de modifications.

Les modifications peuvent apporter un plus en terme de disponibilité (redondance), d'efficacité, de sécurité, etc. Attention toutefois à une forme particulière de reconstruction c'est la « cannibalisation » qui consiste à récupérer, sur le matériel mis au rebut (casse), des éléments en bon état, de durée de vie espérée inconnue, et de les utiliser en rechanges ou en pièces de rénovation. Est-ce une bonne solution ?...

❖ **Modernisation**

C'est le remplacement d'équipements, d'accessoires, des logiciels par des sous-ensembles apportant, grâce à des perfectionnements techniques n'existant pas sur le bien d'origine, une amélioration de l'aptitude à l'emploi du bien. Une modernisation peut intervenir dans les opérations de rénovation ou de reconstruction [8]

I.7. Les niveaux de maintenance

Un niveau de maintenance se définit par rapport :

- À la nature de l'intervention,
- À la qualification de l'intervenant
- Aux moyens mis en œuvre.

La norme NF X 60-010 donne, titre indicatif, cinq niveaux de maintenance, en précisant le service qui en a la responsabilité, la production ou la maintenance.

- ❖ **Premier niveau** : Il s'agit de réglages simples prévus par le constructeur ou le service de maintenance, au moyen d'éléments accessibles sans aucun démontage ou ouverture de l'équipement.

Exemples

- Echanges en toute sécurité d'éléments consommables tels que : fusibles voyants
- Dégagement d'un produit défectueux sur une machine automatisée après la mise en sécurité de la machine
- Ces interventions de premier niveau peuvent être réalisées par l'exploitant du bien, sans outillage particulier à partir des instructions d'utilisation.

❖ Deuxième niveau

Il s'agit de dépannages par échange standard des éléments prévus cet effet et d'opérations mineures de maintenance préventive.

Exemples

- Graissage d'une machine.
- Contrôle du bon fonctionnement d'un four de traitements thermiques.
- Remplacement d'une électrovanne sur un système de serrage de pièce.

Ces interventions de deuxième niveau peuvent être réalisées par un technicien ou l'exploitant du bien dans la mesure où ils ont reçu une formation pour les exécuter en toute sécurité.

❖ Troisième niveau

Il s'agit d'identification et de diagnostic de pannes suivis éventuellement :

- D'échanges de constituants de réparations mécaniques mineures.
- Réglage et ré étalonnage général des mesureurs.

Exemples

- Remplacement d'une bobine de contacteur défectueuse à la suite d'une surtension.
- Démontage d'un manomètre donnant des indications erronées, réétalonnage sur un banc de contrôle, remontage sur la machine.
- Remplacement d'une clavette cisailée nécessitant l'ajustage de la nouvelle clavette.
- Les interventions de troisième niveau peuvent être réalisées par un technicien spécialisé directement sur le site ou dans un atelier de maintenance.

❖ Quatrième niveau

Il s'agit de tous les travaux importants de maintenance corrective ou préventive à l'exception de la rénovation et de la reconstruction.

Exemples

- Révision générale d'un compresseur.
- Démontage, réparation, remontage, réglage d'un treuil de levage.
- Remplacement du coffret d'équipement électrique de démarrage d'une machine – outil.

Ces interventions de quatrième niveau peuvent être réalisées par une équipe disposant d'un encadrement technique très spécialisé et de moyens importants bien adaptés à la nature de l'intervention.

❖ Cinquième niveau

Il s'agit de tous les travaux de rénovation, de reconstruction ou de réparation importante, confiés à un atelier central de maintenance ou à une entreprise extérieure prestataire de services.

Exemples

- Révision générale de la chaufferie d'une usine.
- Rénovation d'une ligne de conditionnement de flacons pour améliorer son degré d'automatisation.
- Réparation d'un engin de levage portuaire partiellement endommagé à la suite d'une tempête.
- Dans ce type de travaux les moyens et les méthodes sont comparables à ceux mis en œuvre lors de fabrication des matériels. Constructeur d'en fournir, les spécifications techniques et constructives. [10]

❖ Table des Niveau

Tableau I.1 :tableau de niveau

Niveau	Complexité	Compétence	Outillage	Lieu	Exemple
1	Réglages simples	Technicien Ou operateur	Basique (Pinceau, jauge)	Sur place	Le Graissage
2	Actions peu complexes	Technicien habilité	Portatif standard (Clés, Pincés)	Sur place	changement de Courroie
3	Actions complexes	Technicien spécialisé	Spécifique (Multimètre)	Sur place ou Atelier	réparation de distributeur
4	Actions de grande importance	Technicien/Equipe spécialisé avec encadrement	Collectif et Spécifique	Atelier Spécialisé	Réparation de transformateur
5	Operations complexes	Equipe de construction	Spécifique au constructeur	Atelier externe	Refonte des machines

I.8. Les outille de la maintenance industrielle

I.8.1. La méthode Pareto (ABC)

L'analyse de Pareto consiste à classer les défauts par nature en fonction de leur importance relative. L'expérience prouve qu'un petit nombre de défauts représente souvent un pourcentage important du non – qualité totale. D'où l'idée de traiter en priorité ces défauts afin de rétablir plus rapidement une situation proche de la normale. [11]

I.8.2. La méthode AMDEC

Analyse des modes de défaillances, de leurs effets et de leur criticité.

Il s'agit d'une méthodologie d'analyse en profondeur des pannes et des équipements (utilisée également pour la conception d'un produit, dans l'analyse de la fabrication, du marketing, etc.) qui permet de prendre des décisions telles que la mise à jour du plan de maintenance ou la modification de la conception de l'équipement. [12]

I.8.2. La méthode Arbre de Défaillance

L'arbre de défaillances est une méthode déductive qui, à partir d'un événement indésirable (défaillance critique) sélectionné, permet de visualiser et de quantifier les différents scénarii qui peuvent lui donner naissance. [13]

I.8.3. La méthode sous effet

Il s'agit d'un diagramme causes/effets. Son but est de formuler collectivement les causes d'un problème, de déterminer avec précision les situations à problèmes, puis de lister toutes les causes pour ensuite les classer par famille afin de les positionner sur le diagramme. Ce diagramme est également appelé « Arêtes de poisson » ou « Méthode des 5M » (Méthodes, Milieu, Matière, Maintenance, Moyens). [12]

I.9. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons défini la maintenance et ses méthodes ensuite nous avons exposé les opérations de la maintenance curative et la maintenance préventive systématique d'une part et les techniques de maintenance préventive conditionnelle. A la fin, nous avons vus les différentes taches de la maintenance. Dans le chapitre suivant, nous aborderons les méthodes qualitative et quantitative.

Chapitre II

Méthode Qualitative et

Quantitative

II.1. Introduction

La maintenance industrielle joue un rôle crucial dans le bon fonctionnement des systèmes de production. Ce chapitre illustre une analyse des approches qualitative et quantitative utilisées dans le domaine de la maintenance industrielle, en se concentrant sur des aspects clés tels que la maintenabilité, la fiabilité, la disponibilité et les méthodes de maintenance ABC, AMDEC et Arbre défaillance.

L'approche qualitative est utilisée pour évaluer la facilité de la maintenance des équipements ou systèmes et optimiser les activités de maintenance pour améliorer leur durée de vie.

L'approche quantitative est utilisée pour évaluer la probabilité de défaillance d'un système, en analysant les données historiques et en prédisant les performances futures des équipements.

L'objectif est de minimiser les temps d'arrêt imprévus et d'optimiser les intervalles de maintenance préventive.

II.2. Méthode Quantitative

L'étude quantitative de la maintenance est introduite par l'analyse de la fiabilité, de la maintenabilité et de la disponibilité (F.M. D) des machines.

Elle est réalisée sur la base de l'historique des temps de bon fonctionnement, des temps d'arrêt et des temps de disponibilité à l'arrêt. [14]

II.2.1. Analyse quantitative des défaillances

L'analyse quantitative d'un historique va permettre de dégager des actions d'amélioration, donc d'identifier les défaillances à approfondir afin de les corriger et les prévenir. Analyser quantitativement les résultats des diagnostics constituent ainsi un axe de progrès. Les données chiffrées à saisir doivent être les suivantes :

- ❖ Dates des interventions correctives (jours, heures) et nombre N de défaillances ces éléments permettront de calculer les périodes de bon fonctionnement ($UT = Up$ Time), les intervalles de temps entre deux défaillances consécutives (TBF = Time Between Failures) et leur moyenne (MTBF) ; ces données permettront de caractériser la fiabilité des Équipements :
- ❖ Temps d'arrêt de production ($DT = Down$ Time) consécutifs à des défaillances, y compris Ceux des « micro-défaillances », tous les événements sont systématiquement consignés, Même les plus anodins, il est toujours plus simple de

se rappeler d'une grosse panne que d'une micro-défaillance répétitive qui engendrera à terme une défaillance grave, L'expérience montre que son oubli fausse complètement une étude de fiabilité ultérieure. Il est prouvé aussi que les micro-défaillances, qui appartiennent à la routine, donc qu'on oublie facilement, sont génératrices de perte de disponibilité, donc de productivité moindre et bien sûr de non qualité, ces données permettront donc de caractériser la disponibilité des équipements.

- ❖ Durées d'intervention maintenance (TTR = Time To Repaire) et leur moyenne (MTTR).
- ❖ Ces données permettront de caractériser la maintenabilité des équipements.
- ❖ Les méthodes quantitatives sont des méthodes de recherche, utilisant des outils d'analyse mathématiques et statistiques, en vue de décrire, d'expliquer et prédire des phénomènes par le biais de données historiques sous forme de variables mesurables. Elles se distinguent ainsi des méthodes dites qualitatives.
- ❖ Le comptage et la mesure sont des méthodes quantitatives banales. Le résultat de la recherche est un nombre ou un ensemble de nombres. On les présente souvent sous forme de tables, de graphiques... [15]

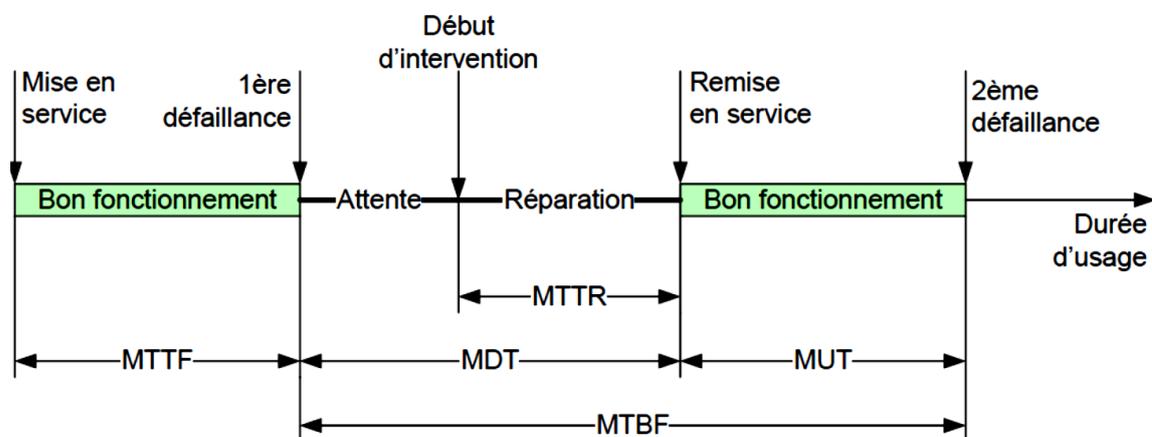


Figure II.1 : Analyse des temps [16]

Les indicateurs opérationnels sont :

- **MTTF** : (Mean Time To Failure) Durée moyenne de fonctionnement d'une entité avant la première défaillance
- **MTTR** : (Mean Time To Repair) Durée moyenne de réparation
- **MUT** : (Mean Up Time) Durée moyenne de fonctionnement après réparation

- **MDT** : (Mean Down Time) Durée moyenne d'indisponibilité. Cette durée correspond aux phases suivantes : Détection de la panne, la réparation de la panne et la remise en service.
- **MTBF** : (Mean Time Between Faillure) Durée moyenne entre deux défaillances consécutives d'une entité réparée. [16]

II.2.3. Concepts fondamentaux

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

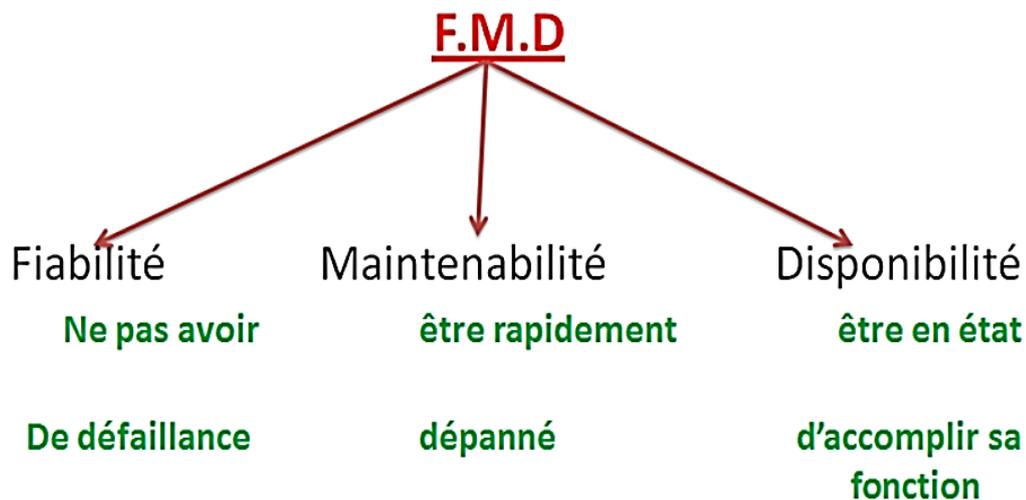


Figure II.2: Sûreté de fonctionnement FMD [17]

On peut définir trois grandeurs :

- La fiabilité « reliability » qui mesure la continuité de service.
- La maintenabilité « maintainability » qui est l'aptitude aux réparations et aux évolutions.
- La disponibilité « availability » qui est le fait d'être prêt à l'utilisation.

II.2.3.1. Fiabilité

🚩 Définition

La fiabilité est l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, pendant un intervalle de temps donné. Il est généralement admis que l'entité est en état d'accomplir la fonction requise au début de l'intervalle de temps donné (Villemeur, 1991).

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

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

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

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

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

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (\text{II.2})$$

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

$$\lambda(t) = \frac{\left(\frac{dR(t)}{dt}\right)}{R(t)} \quad (\text{II.3})$$

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

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta(t) \rightarrow 0} \left(\frac{p(\text{entité défaillance entre et } \Delta \text{ et non défaillance sur } [t; 0])}{\Delta(t) P(\text{entité soit non défaillance sur } [0; t])} \right)^n \quad (\text{II.4})$$

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

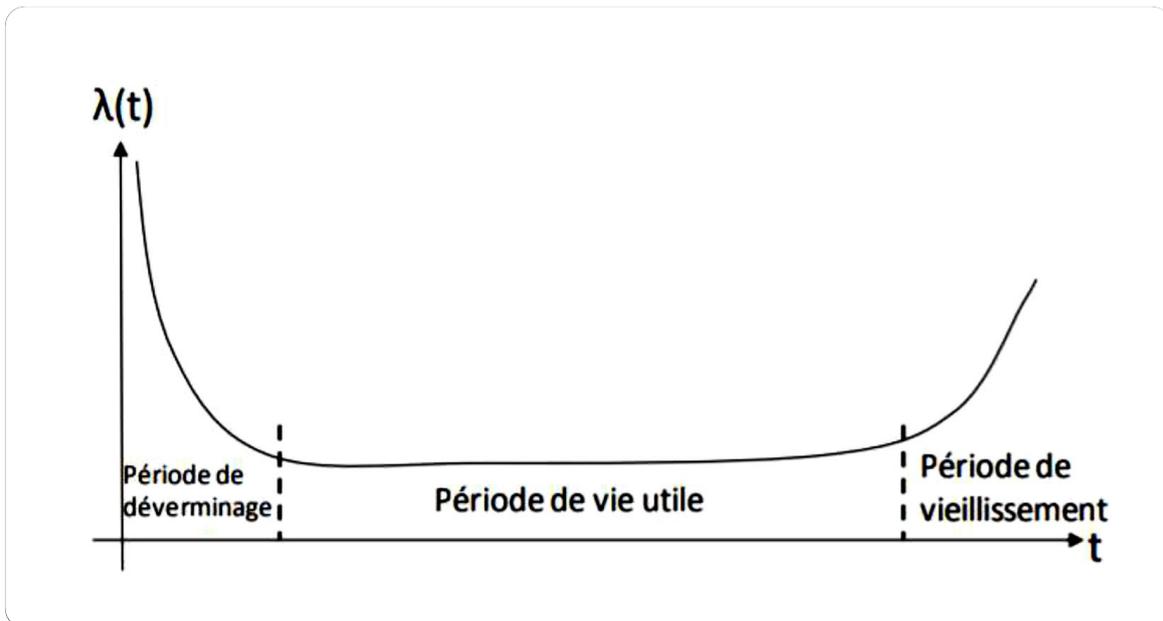


Figure II.03 : Evolution du taux de défaillance d'un système. [16]

II.2.3.1.1. Les principales lois

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

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

On distingue deux types :

- **Lois discrètes**
- **Lois continues**

II.2.3.1.1.1. Lois discrètes

Une loi est dite discrète si elle prend ses valeurs dans \mathbb{N} c'est à dire des valeurs entières comme par exemple celle qui compte le nombre de pannes. Parmi les lois discrètes on peut citer. [16]

❖ **Loi de Bernoulli [17]**

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

Si (S) est réalisé, $X = 1$

Si (E) est réalisé, $X = 0$

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

$$P(X = 0) = q$$

$$P(X = 1) = p$$

$$(p + q = 1)$$

II.2.3.1.1.2. Loïs continues

❖ La loi exponentielle

• Domaine d'utilisation

La loi exponentielle en fiabilité est utilisée lorsque le taux de défaillance d'un système ou d'un composant est sensiblement constant ($\lambda = \text{constant}$), ceci dit que la loi exponentielle s'applique lorsque le système se trouve en phase de maturité (Courbe en baignoire).

$$\begin{aligned} \text{C'est le seul cas où } \lambda = \frac{1}{\text{MTBF}} \quad (\text{taux de panne}) ; \mu = \frac{1}{\text{MTBF}} \\ (\text{taux de réparation}) \end{aligned} \quad (\text{II.5})$$

• Origine de la loi exponentielle

La loi de Poisson (loi discrète) : La réalisation d'événements aléatoires dans le temps se nomme « processus de Poisson ». Il caractérise une suite de défaillances équiprobables, indépendantes du temps et indépendantes entre elles.

Dans ce cas, la probabilité de constater k pannes à l'instant t s'exprime par la loi de Poisson :

$$P(K) = \frac{\lambda t}{k!} e^{-\lambda t} \quad (\text{II.6})$$

À l'instant t , la fiabilité est la probabilité pour qu'il n'y ait pas de panne à t . Elle s'écrit :

$$R(t) = P(k = 0) = e^{-t} \quad (a^0 = 1) \quad (\text{II.7})$$

• Caractéristiques de la loi exponentielle :

Elle se retrouve à partir de la loi fondamentale de la fiabilité avec λ constant.

La probabilité de survie entre 0 et t devient :

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (\text{II.8})$$

Densité de probabilité

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{d(1 - R(t))}{dt} = \frac{d(1 - e^{-\lambda t})}{dt} = \lambda e^{-\lambda t} \quad (\text{II.9})$$

Fonction de répartition : $F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\lambda t}$ = probabilité de panne entre 0 et Espérance mathématique :

Ecart type :

$$\text{Le taux de défaillance : } \lambda = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\lambda e^{-\lambda t}}{e^{-\lambda t}} = \lambda = \text{constant}$$

Durée de vie associée à un seuil de fiabilité : tirons t de la loi exponentielle :

La moyenne des temps de fonctionnement (MTTF) ou de bon fonctionnement (MTBF) un important estimateur de la fiabilité et de la disponibilité des systèmes et se calcul par l'expression :

Par exemple : pour un composant de MTBF = 2 000 h et un seuil $R(t) = 0,9$, on aura $t = 0,105 / \lambda = 0,105 \cdot \text{MTBF}$, d'où la valeur $t = 210$ h telle que 90 % des composants survivent. [17]

❖ La loi de Weibull

Autre loi prépondérante en fiabilité, la loi de Weibull et ses applications sont illustrées ci-dessous. La durée de fonctionnement T d'un système suit une loi de Weibull de paramètres $\eta > 0$ et $\lambda > 0$, si sa fonction de répartition (t) est donnée par

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\lambda} \quad \text{pour } t \geq 0 \quad (\text{II.10})$$

Notons que, dans l'expression ci-dessus, η correspond au paramètre de forme et λ au paramètre d'échelle. Le paramètre d'échelle informe sur l'étendue de la distribution. Le paramètre de forme, quant à lui, est associé à la cinétique du processus observé.

➤ La densité de probabilité correspondante est :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \times e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad \text{pour } t \geq 0 \quad (\text{II.11})$$

- La fonction de fiabilité (t) pour cette loi est définie par :

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-}{\eta}\right)} \text{ pour } t \geq 0 \quad (\text{II.12})$$

- La durée moyenne de bon fonctionnement est :

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt = \lambda \Gamma\left(\frac{1}{\eta} + 1\right) \quad (\text{II.13})$$

- Avec $\Gamma(\cdot)$ la fonction gamma qui s'exprime de la façon suivante :

$$\Gamma(a) = \int_0^{\infty} t^{a-1} e^{-t} dt \quad (\text{II.14})$$

- Enfin, le taux de défaillance $\lambda(t)$ est donné par :

$$\lambda(t) = \frac{1}{\eta} \left(\frac{t-}{\eta}\right)^{-1} \quad (\text{II.15})$$

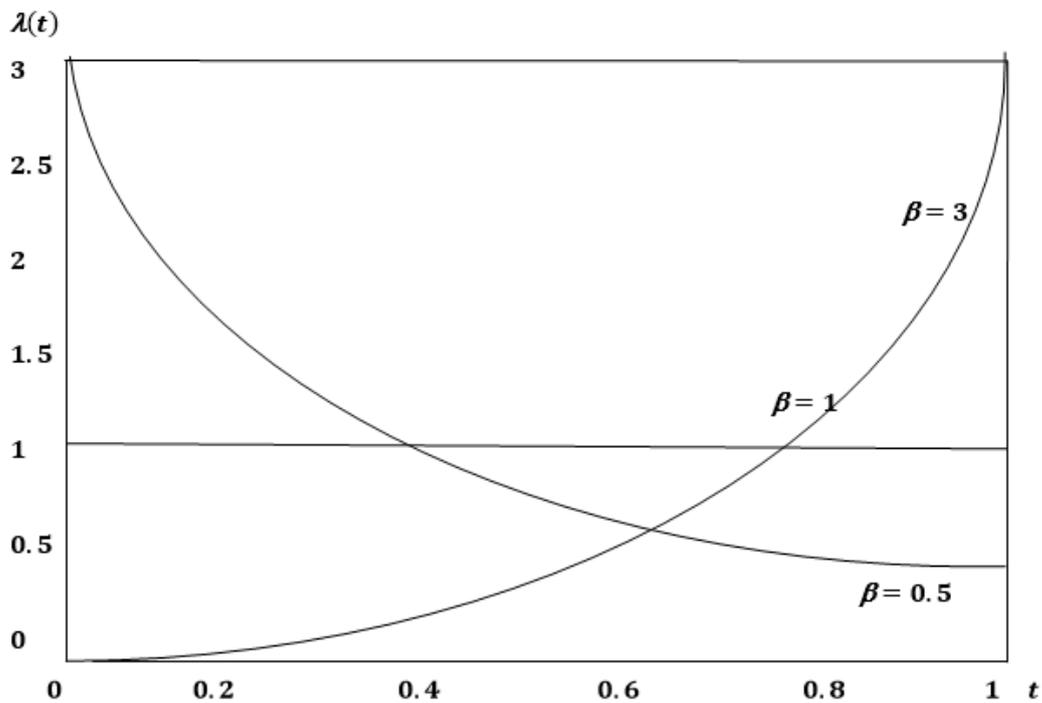


Figure II.04: Taux de défaillance de la loi de Weibull, $\lambda = 1$ [5]

Contrairement à la loi exponentielle, le taux de défaillance de la loi de Weibull est fonction du temps. Cela permet, en faisant évoluer les paramètres, de modéliser des situations où l'entité s'améliore ($\beta < 1$), où l'entité se dégrade ($\beta > 1$) mais également des situations où l'entité ne s'use pas et ne s'améliore pas ($\beta = 1$). La figure II.04 permet d'illustrer ces différentes situations. La grande flexibilité de cette loi justifie son utilisation récurrente pour les modélisations de durées de vie. [18]

II.2.3.2. La Maintenabilité

🚩 Définition

« Dans les conditions d'utilisation données pour lesquelles il a été conçu, la maintenabilité est l'aptitude d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits. » (NF EN 13306).

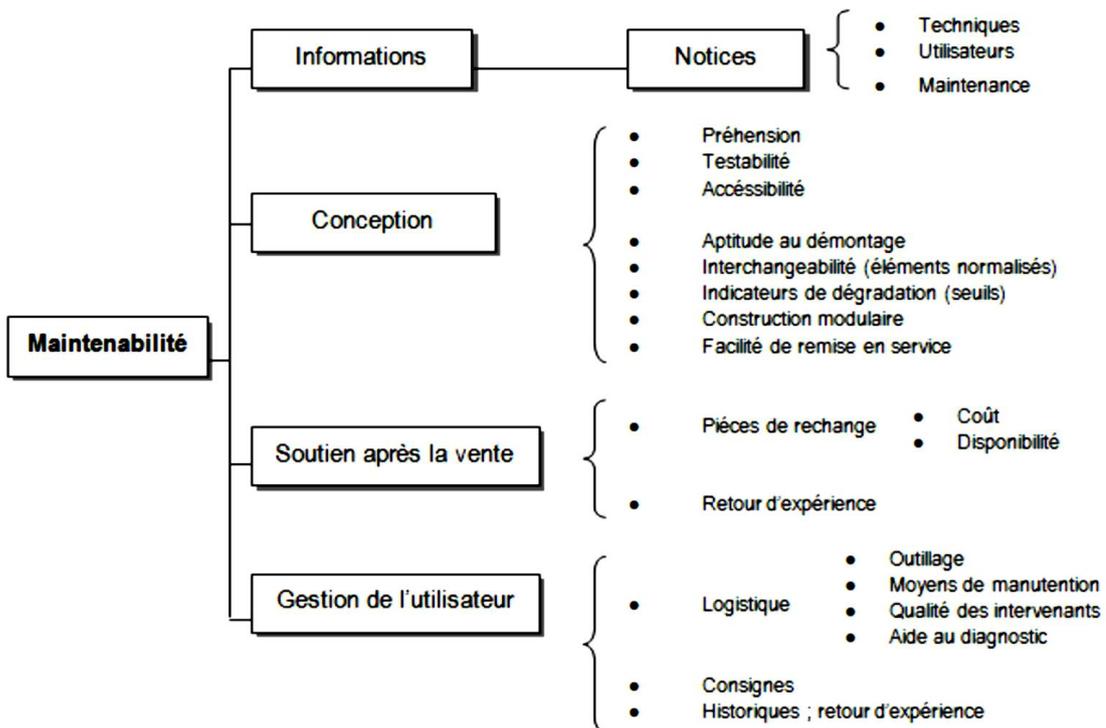


Figure II.05 : organigramme sur la maintenabilité [19]

La maintenabilité caractérise la facilité à remettre ou de maintenir un bien en bon état de fonctionnement. Cette notion ne peut s'appliquer qu'à du matériel maintenable, donc réparable.

« Les moyens prescrits » englobent des notions très diverses : moyens en personnel, appareillages, outillages, etc. La maintenabilité d'un équipement dépend de nombreux facteurs :

Facteurs liés à l'EQUIPEMENT	Facteurs liés au CONSTRUCTEUR	Facteurs liés à la MAINTENANCE
<ul style="list-style-type: none"> - documentation - aptitude au démontage - facilité d'utilisation 	<ul style="list-style-type: none"> - conception - qualité du service après-vente - facilité d'obtention des pièces de rechange - coût des pièces de rechange 	<ul style="list-style-type: none"> - préparation et formation des personnels - moyens adéquats - études d'améliorations (maintenance améliorative)

Tableau II.1 : nombreux facteurs [20]

❖ **Calcul de la maintenabilité :**

La maintenabilité peut se caractériser par sa MTTR (Mean Time To Repair) ou encore Moyenne des Temps Techniques de Réparation. (Attention : voir remarques sur les indicateur FMD. [20])

$$MTTR = \frac{\sum \text{Temps d'intervention pour } n \text{ pannes}}{\text{Nombre de pannes}} \quad (\text{II.16})$$

• **Taux de réparation μ :**

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \quad (\text{II.17})$$

II.2.3.3. Disponibilité

La disponibilité est l'aptitude d'un bien à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou durant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieur nécessaires est assurée.

Cette aptitude dépend de la combinaison de la fiabilité, de la maintenabilité et de la supportabilité de maintenance La supportabilité de maintenance est l'aptitude

d'une organisation de maintenance à mettre en place les moyens de maintenance appropriés à l'endroit voulu en vue d'exécuter l'activité de maintenance demandée à un instant donné ou durant un intervalle de temps donné.

Les moyens extérieurs nécessaires autres que la logistique de maintenance n'affectent pas la disponibilité du bien, Par exemple, un temps d'arrêt pour manque d'énergie ou manque de main d'œuvre n'est pas considéré comme un temps d'indisponibilité.

II.2.3.2.1. Types de disponibilité

❖ Disponibilité intrinsèque

Elle exprime le point de vue du constructeur. Ce dernier a conçu et fabriqué le bien en lui conférant un certain nombre de caractéristiques intrinsèques, c'est-à-dire des caractéristiques qui prennent en compte des conditions d'installation, d'utilisation, de maintenance et d'environnement supposées être idéales. Disponibilité opérationnelle s'agit de prendre en compte les conditions réelles d'exploitation et de maintenance. C'est la disponibilité du point de vue de l'utilisateur.

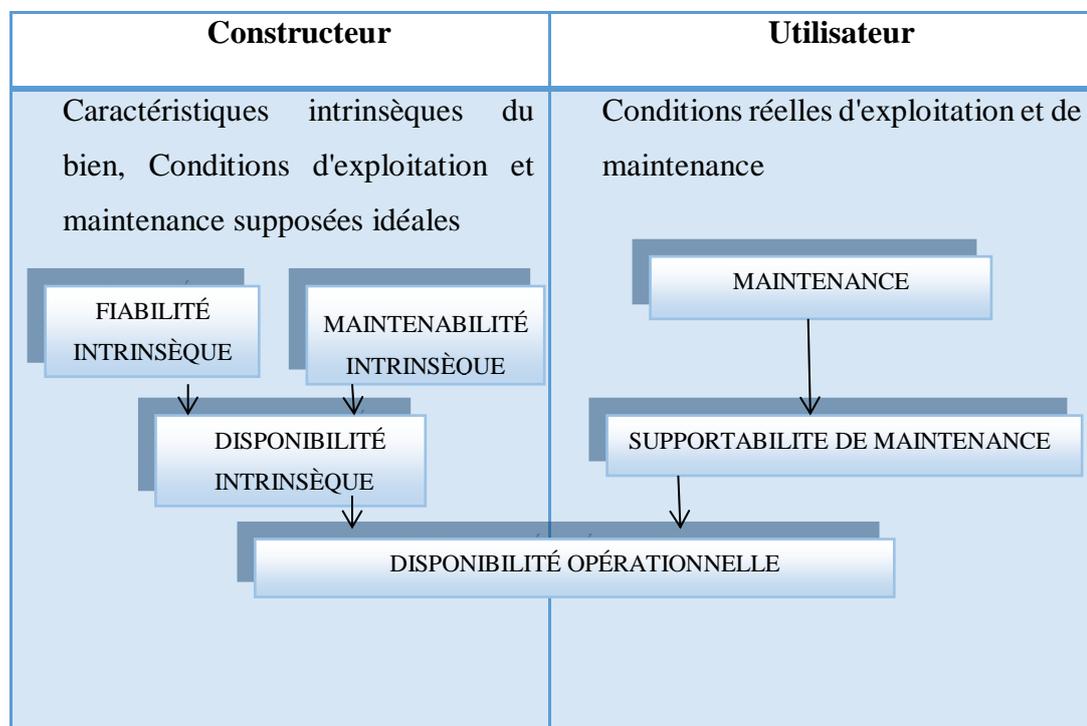


Tableau II.2 : Disponibilité opérationnelle [21]

❖ Quantification de la disponibilité

La disponibilité sur un intervalle de temps donné peut être évaluée par le rapport :

$$\frac{\text{Temps de disponibilité}}{\text{Temps de disponibilité} + \text{Temps d'indisponibilité}} \quad (\text{II.18})$$

En l'exprimant par rapport à des temps moyens, la disponibilité D s'écrit :

$$D = \frac{\text{Temps moyen de disponibilité}}{\text{Temps moyen de disponibilité} + \text{Temps moyen d'indisponibilité}} \\ = \frac{TMD}{TMD + TMI} \quad (\text{II.19})$$

Et en anglais

$$D = \frac{MUT(\text{Mean Up Time})}{MUT + MDT(\text{Mean Down Time})} \quad (\text{II.20})$$

Tableau II.3 : de décomposition temporelle [21]

Z	TEMPS TOTAL
----------	--------------------

SITUATIONS CORRESPONDANTES		TEMPS REQUIS	
		TEMPS DE DISPONIBILITE	TEMPS D'INCAPACITE
Matériel accomplissant la fonction requise	Fonctionnement		
Matériel non sollicité	Attente		
Manque alimentation énergie	Incapacité pour causes extérieures		
Manque main d'œuvre			
Manque ou saturation pièce			
Pièces en amont non conformes			
Maintenance préventive de niveau 1 et 2	Maintenance préventive		
Inspection - contrôles			
Visites			
Changement d'outils programmé	Contraintes d'exploitation		
Changement de fabrication			
Contrôle produits fabriqués			
Tps de réparation (diagnostic, réparation, Remise en condition	Indisponibilit é après défaillance		
Non détection			
Appel à la maintenance			
Approvisionnement en outillages			
Approvisionnement en pièces de rechange			
Non besoin de production	Temps		
Travaux lourds de maintenance	Indisponibilit		

Une prise en compte plus ou moins restrictive de ces différents temps permet de définir des mesures de dispo lités comme par exemple :

❖ **Disponibilité intrinsèque**

$$\frac{1}{1+3} = \frac{\text{Temps de fonctionnement}}{\text{Temps de fonctionnement} + \text{Temps d'arrêt intrinsèques au bien}}$$

(II.21)

❖ **Disponibilité opérationnelle [21]**

$$\frac{1}{1+4} = \frac{\text{Temps de disponibilité}}{\text{Temps requis}}$$

(II.22)

Ou encore à partir de ces différents temps, la disponibilité peut s'exprimer par

$$\frac{\text{FMED (temps Moyen de Fonctionnement Entre Défaillances)}}{\text{FMED} + \text{TMRS (Temps Moyen avant Remise en Service)}}$$

(II.23)

ET en anglais

$$\frac{\text{MTBF (Mean operating Time Between Failure)}}{\text{MTBF} + \text{MTTR (Mean Time To Restoration)}}$$

(II.24)

II.3. Méthode Qualitative

Cette étude s'applique aux systèmes en exploitation. Elle permet d'apprécier les performances des équipements et le niveau de maintenance qu'ils requièrent. Cette démarche progressive regroupe plusieurs outils d'aide à la décision qui définissent une politique de maintenance [14]

II.3.1. Analyse Qualitative de défaillance

La méthode qualitative en maintenance industrielle est étroitement liée aux outils de maintenance ABC, AMDEC et ARBRE défaillance. Ces outils complémentaires jouent un rôle essentiel dans la planification et l'exécution des activités de maintenance préventive. La méthode qualitative se concentre sur l'analyse approfondie des équipements et des processus industriels afin d'identifier les défaillances potentielles et de les prévenir. Les outils ABC (Analyse des Besoins de Maintenance), AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) et ARBRE défaillance (Analyse de Réalité Basée sur la Résolution d'Erreur) offrent des approches structurées pour évaluer et classer les risques de défaillance et les besoins de maintenance. Ils permettent de prioriser les actions à entreprendre en se concentrant sur les éléments les plus critiques et les plus

susceptibles de causer des interruptions de production ou des dommages matériels. En combinant la méthode qualitative en maintenance industrielle avec ces outils, les gestionnaires de maintenance peuvent prendre des décisions éclairées, optimiser la disponibilité des équipements et prolonger leur durée de vie opérationnelle, contribuant ainsi à une gestion efficace de la maintenance et à une meilleure performance globale des installations industrielles.

II.3.2. Méthode ABC

❖ Définition

La méthode ABC est une technique de catégorisation. Elle consiste à classer des éléments en trois catégories : A, B et C. Les références sont catégorisées par ordre décroissant, A désignant la catégorie la plus importante ou stratégique, et C la moins importante. La méthode ABC peut être utilisée pour catégoriser les références selon différentes valeurs : CA, marge, volume... Par ailleurs, cette méthode de classification peut s'appliquer à différentes granularités de la supply Chain : références-produits, clients, fournisseurs...

Quoi qu'il en soit, la méthode ABC se base sur le principe de Pareto selon lequel 80% de la valeur repose sur 20% des références. Si nous reprenons nos exemples, cela revient à dire que :

- 20% des références-produits génèrent 80% des ventes.
- 20% des clients apportent 80% de chiffre d'affaires.
- 20% des fournisseurs livrent 80% des approvisionnements.

L'entreprise, la Loi de Pareto constitue un référentiel intéressant : la valeur produite n'est pas répartie de manière homogène entre les références. Partant de ce principe, la méthode ABC propose de classer les références comme suit : bien que ces affirmations dépendent en grande partie du secteur d'activité de :

- **Classe A** : les 20% d'éléments qui génèrent 80% de valeur.
- **Classe B** : les 30% d'éléments qui génèrent 15% de valeur.
- **Classe C** : les 50% d'éléments qui génèrent 5% de valeur.

Principe

Ce diagramme représente une série de colonnes triées par ordre décroissant. Elles sont généralement accompagnées d'une courbe des valeurs cumulées de toutes les colonnes.

Ce diagramme est construit en plusieurs étapes :

- Etablir la liste des données.
- Quantifier chacune de ces données.
- Effectuer la somme des valeurs obtenues.
- Calculer les pourcentages par valeurs décroissantes.
- Représenter graphiquement ces pourcentages par un histogramme.
- Représenter l'historgramme des valeurs cumulées. [14]

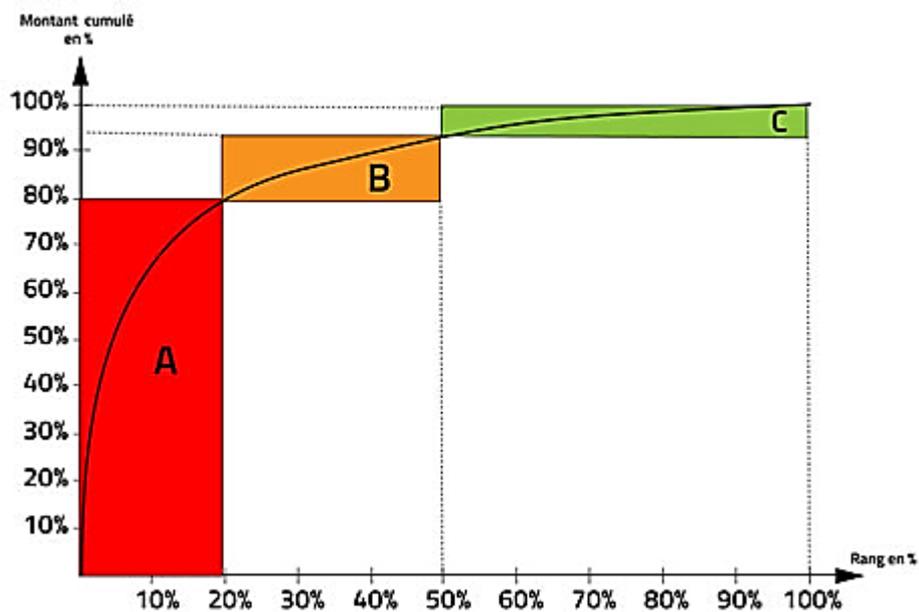


Figure II.06 : La courbe ABC [22]

II.3.3. Méthode AMDEC

🚩 Définition

L'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) est une méthode d'analyse préventive de la sûreté de fonctionnement des produits et des équipements.

Ce principe de la prévention repose sur le recensement systématique et l'évaluation des risques potentiels d'erreurs susceptibles de se produire à toutes les phases de réalisation d'un produit. C'est une méthode précieuse qui permet à l'entreprise de valider, tout au long de la construction du produit, sa qualité et sa fiabilité.

Elle identifie les modes de défaillance des composants, en évalue les effets sur l'ensemble des fonctions et en analyse les causes.

Elle évalue l'impact, ou criticité, de ces modes de défaillances sur la sûreté de fonctionnement.

En phase de conception, elle est associée à l'analyse Fonctionnelle, pour la recherche des modes de défaillances spécifiques à chaque fonction ou contrainte des composants.

Dans le cas d'analyse sur des procédures ou chaînes de fabrication, elle permet de localiser les opérations pouvant conduire à élaborer un produit ne respectant pas le cahier des charges, ce qui permettra par la suite de limiter les rebuts

Appliquée à un groupe de travail pluridisciplinaire, elle est recommandée pour la résolution de problèmes mineurs dont on veut identifier les causes et les effets elle contribue donc à la construction et à l'amélioration de la qualité

Il existe plusieurs types d'AMDEC dont les deux suivantes :

- **AMDEC machine** (ou moyen de production)

On identifie les défaillances du moyen de production dont les effets agissent directement sur la productivité de l'entreprise. Il s'agit donc de l'analyse des pannes et de l'optimisation de la maintenance.

- **AMDEC procédé**

On identifie les défaillances du procédé de fabrication dont les effets agissent directement sur la qualité du produit fabriqué (Les pannes ne sont pas prise en compte). [15]

❖ **Objectif du module**

Maîtriser la démarche AMDEC pour pouvoir :

1. Identifier, analyser et réduire les risques techniques
2. Améliorer la fiabilité et la performance des processus
3. Éviter les coûts des effets de défaillance
4. Analyser des conséquences des défaillances
5. Identifier des modes de défaillance,
6. Préciser pour chaque mode de défaillance des moyens et des procédures de détection, Déterminant l'importance ou la critique des modes de défaillance,
7. Classer des modes de défaillance,
8. Etablir des signes de dé-signification et de probabilité défaillances.
9. Remédier à ces échecs

❖ **Démarche de mise en œuvre de l'AMDEC**

- **Etape 1 Installation**

10. Définition du système à étudier
11. Définition de la phase de fonctionnement
12. Définition des objectifs à atteindre
13. Constitution du groupe de travail
14. Etablissement du planning
15. Mise au point des supports de l'étude
- **Etape 2 Décomposition Fonctionnel**
16. Découpage du système
17. Identification des fonctions des sous-ensembles
18. Identification des fonctions des éléments
- **Etape 3 Analyse AMDEC Phase 3a : analyse des mécanismes de défaillance**
19. Identification des modes de défaillance
20. Recherche des causes
21. Recherche des effets
22. Recensement des détections Phase 3b : évaluation de la criticité
23. Estimation du temps d'intervention
24. Evaluation des critères de cotation
25. Calcul de la criticité Phase 3c : proposition d'actions correctives
26. Recherche des actions correctives
27. Calcul de la nouvelle criticité
- **Etape 4 Synthèse**
28. Hiérarchisation des défaillances
29. Liste des points critiques
30. Liste des recommandations [23]

❖ Les types d'A.M.D.E.C

Il existe différents types d'AMDEC, dont les trois principaux sont :

- **AMDEC Produit** : c'est l'analyse des défaillances d'un produit, dues à sa conception, sa fabrication ou son exploitation, pour améliorer sa qualité et sa fiabilité.

- **AMDEC Processus** : c'est l'analyse des défaillances sur les méthodes de production d'un produit ainsi que les procédures mises en œuvre pour accomplir une tâche.
- **AMDEC Moyens de Production** : c'est l'analyse des défaillances des machines et équipements intervenants dans la réalisation d'un produit.

❖ **Les définitions liées à l'AMDEC**

Pour comprendre cette méthode, il est important de bien connaître les termes qui lui sont associés.

Le mode de défaillance : c'est la manière dont le système peut s'arrêter de fonctionner, s'écarter des spécifications prévues initialement, fonctionner anormalement, etc.

Il s'exprime en terme physique.

Exemple : fuite, court-circuit, déformation, etc.

La recherche de défaillance consiste à se poser les questions suivantes :

- Qu'est-ce qui ne fonctionne pas ?
- Qu'est-ce qui a arrêté de fonctionner ?
- Est que quelque chose s'est dégradé dans le fonctionnement du système ?
- Le fonctionnement est-il intempestif ?
- **La cause de la défaillance** : c'est l'anomalie pouvant conduire à la défaillance.
- **L'effet de la défaillance** : ce sont les conséquences subies par l'utilisateur.
- **La criticité** : c'est un moyen de déterminer l'acceptabilité de la situation par la combinaison de plusieurs facteurs. En fonction de son activité ou du chef de projet, la méthode de cotation peut différer. [24]

Tableau II.4 : la criticité C. [25]

Niveau de criticité	Définition
---------------------	------------

$1 \leq C < 10$ criticité négligeable	Aucune modification Maintenance corrective
$10 \leq C < 18$ Criticité moyenne	Amélioration Maintenance préventive systématique
$18 \leq C < 27$ criticité élevée	Surveillance particulière Maintenance préventive Conditionnelle
$27 \leq C < 64$ Criticité interdite	Remise en cause complète de l'équipement

❖ Grille de cotation de la Criticité :

Tableau II.5: Fréquence *F*.

Niveau	Valeur	Définition
Très faible	1	Défaillance rare : moins d'une défaillance par 10 ans
Faible	2	Défaillance possible : moins d'une défaillance par année
Moyen	3	Défaillance occasionnelle : moins d'une défaillance par 4 mois
Elevé	4	Défaillance fréquente : moins d'une défaillance par semaine

Tableau II.6: Gravité *G*.

Niveau	Valeur	Définition
		Arrêt de la production
Mineur	1	moins de 15 minutes
Moyen	2	de 15 minutes à une heure
Majeur	3	entre 1 heure et 2 heures

Tableau II.7: Non détection D.

Niveau	Valeur	Définition
Evident	1	Détection certaine, sirène, moyens automatiques, signes évidents
Possible	2	DéTECTABLE par l'opérateur, par des routes d'inspection, par des vibrations
Improbable	3	Difficilement détectable, moyens complexes (appareils, démontages)
Impossible	4	Indétectable, aucun signe

II.3.4. Arbre de défaillance

✚ Définition

C'est un diagramme déductif qui va de l'effet vers la cause et qui a pour objet de rechercher toutes les combinaisons de défaillances élémentaires (primaires) pouvant déboucher vers une panne.

❖ Symbolisme

Cet outil utilise un symbolisme qu'on utilise également sur les circuits logiques. On parle aussi de logigramme de dépannage.

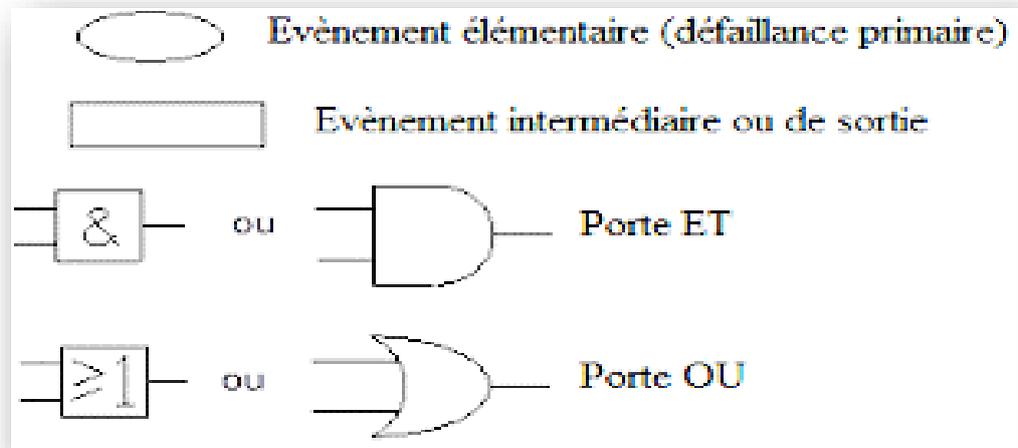


Figure II .07 : Symbolisme des arbres de défaillances [26]

❖ Construction de l'arbre de défaillances

Pour construire un arbre de défaillance, on peut utiliser l'organigramme de la figure. Notons que cette construction est tout à fait qualitative.

II.3.5. Diagramme Cause-Effets

Cet outil a été créé par Ishikawa, professeur à l'Université de la TOKYO dans les Années 60 et concepteur d'une méthode de management de la qualité totale. Le diagramme causes-effet est une représentation graphique du classement par familles de toutes les causes Possibles pouvant influencer un processus. Ces familles de causes au nombre de 5 engendrent la non qualité dans un processus de fabrication. Leur nom commence par la lettre M d'où L'appellation 5M. Ishikawa a proposé une représentation graphique en « arête de poisson ». [26]

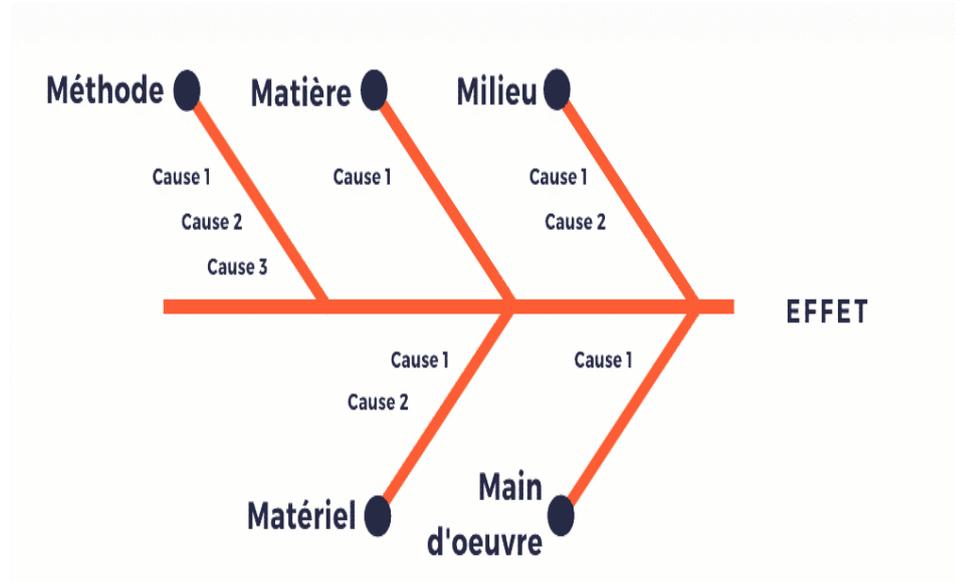


Figure II 08 : Diagramme d'Ishikawa [24]

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

II.4. Conclusions

Dans ce chapitre, nous avons étudié deux approches différentes la méthodologie qualitative et la méthodologie quantitative. Nous avons également identifié les éléments qui sont associés, à savoir la fiabilité, la disponibilité et la maintenabilité. De plus, nous avons fourni des définitions détaillées des outils utilisés dans ces approches.

Chapitre III
Analyse quantitative et
qualitative d'une ligne de
production

III.1. Introduction

L'étude quantitative et qualitative des machines de production est essentielle pour évaluer leur performance, leur fiabilité et leur impact sur le processus global. Dans cette étude, nous mettrons en œuvre les méthodes ABC, AMDEC et L'analyse de fiabilité pour analyser et améliorer les machines de production

En combinant les méthodes ABC, AMDEC et L'analyse de fiabilité, nous pourrions obtenir une vue d'ensemble complète de la performance des machines de production. Cela nous permettra d'identifier les domaines nécessitant des améliorations, de réduire les temps d'arrêt, d'optimiser les ressources et d'améliorer la productivité globale du processus de production.

III.2. Présentation de l'entreprise FOT

L'entreprise FOT est un outil industriel performant, étudié pour répondre aux besoins des différents Secteurs-Clients avec une très large gamme de nuances métallique.

C'est aussi la réponse juste aux attentes des clients grâce au savoir-faire acquis qui nous permet de proposer des solutions parfaitement adaptées à leur besoins et intérêts.

Depuis sa création en 1999 s'est inscrite la logique du progrès en adaptant son organisation, en vue de prendre en charge les préoccupations de son client, à savoir :

- Assurer la qualité de ses prestations.
- Prendre en charge les attentes du client en faisant de lui partenaire performant.

En plus des actions de rationalisation des coûts, FOT a mis en place le système de management de la qualité pour s'assurer de la pris en charge des exigences des clients et de la gestion de leurs attentes.

III.2.1. Historique

Quatre dates historiques :

- **1983** : Mises-en, par la SN-METAL, du projet de complexe de fonderies Tiaret réalisé avec un partenaire Est-allemand.
- Transfert à l'ENF (restructuration industrielle des entreprises publiques)
- **1992** : Délocalisation des 3 unités à partir du CFT (FNT en 1992, UMT en 1993, et ULS en 1995).
- **1995** : externalisation des activités périphérique avec la création de 15 microsociétés dans différents domaines
- **1999** : filialisation du site sous l'appellation Algérienne des fonderies de Tiaret.

III.2.2. Certification au système Management Intégré

Réalisation d'un Audit de pré-évaluation selon les référentiels

- **ISO 9001-2008**, ISO 14001 et OSHAS 18001 par vin cote international Algérie en Octobre 2012.

L'audit de certification du SME est prévu courant du 1er trimestre 2013 et intégrera le Réenregistrement N°3 du « système management qualité » selon ISO 9001-2008 par vin Cote international Algérie.

- **Exposition et foires 2013**

FOT, par le biais du groupe FONDAL sera présenté aux différentes expositions et manifestations économiques régionales et nationales.

III.2.3. Fiche d'identité

- **Nom de :** Algériennes des fonderies de Tiaret
- **L'entreprise :** FOT – Filiale groupe FONDAL
- ❖ **Objet social :** Production et commercialisation de produits de fonderies (pièce moulée en fonte et en acier), étude et conception des outillages, fabrication de pièces moulées sur demandes.
- ❖ **Statut :** Société par actions (FOT)
- ❖ **Siège social :** 21 ; Rue Guellab Larbi –BP 212-Tiaret
- ❖ **Capacité de :** Fonderie Fonte de Tiaret 8.000 T/An
- ❖ Fonderie Acier de Tiaret 4.000 T/An

III.2.4. Moyens de l'entreprise

FOT dispose d'un ensemble d'infrastructures (superficie totale des terrains de 430.000 m2 bâtie). Elle est dotée d'installations et de procédés adaptés pour proposer des nuances de métal très variées et fournir des pièces moulées de grande qualité conformes aux exigences et attentes du client.

❖ **Moyens humains**

FOT compte un effectif de 317 agents, reparti par groupe socioprofessionnel :

	Groupe	Nombre	%
Groupe 1	Exécution	242	76%
Groupe 2	Maitrisés	21	7%
Groupe 3	Cadres	54	17%

Tableau III.1 : moyens humains

❖ **Moyens matériels**

- **Fusion** assuré par 4 fours à induction de 10T, 2 fours induction de 1T et 2 fours à arc de 5T.
- **Moulage** assuré par 2 chantiers automatiques à sable vert, 2 chantiers mécaniques à sable vert et silicate de soude et 2 chantiers manuels au franque, un chantier DISAMATIC 2032 avec installation de coulée automatique en cours de réalisation.
- **Sablerie** et installation de **traitement et de régénération** de sable Noyautage (à précèdes No-back, Cold box, Co2, Corning, huile).
- **Laboratoire** (spectrométrie, métallographie, chimie, essais physique, sable).
- **Parachèvement** (Grenaillage, ébarbage, traitement thermique, soudage, finition).
- **Autre installation** (équipement énergétique, manutention, casse fonte ; transport, machines- outils).

III.2.5. Organisation de la filiale FOT

L'organisation de la filiale FOT est structurée selon le schéma suivant :

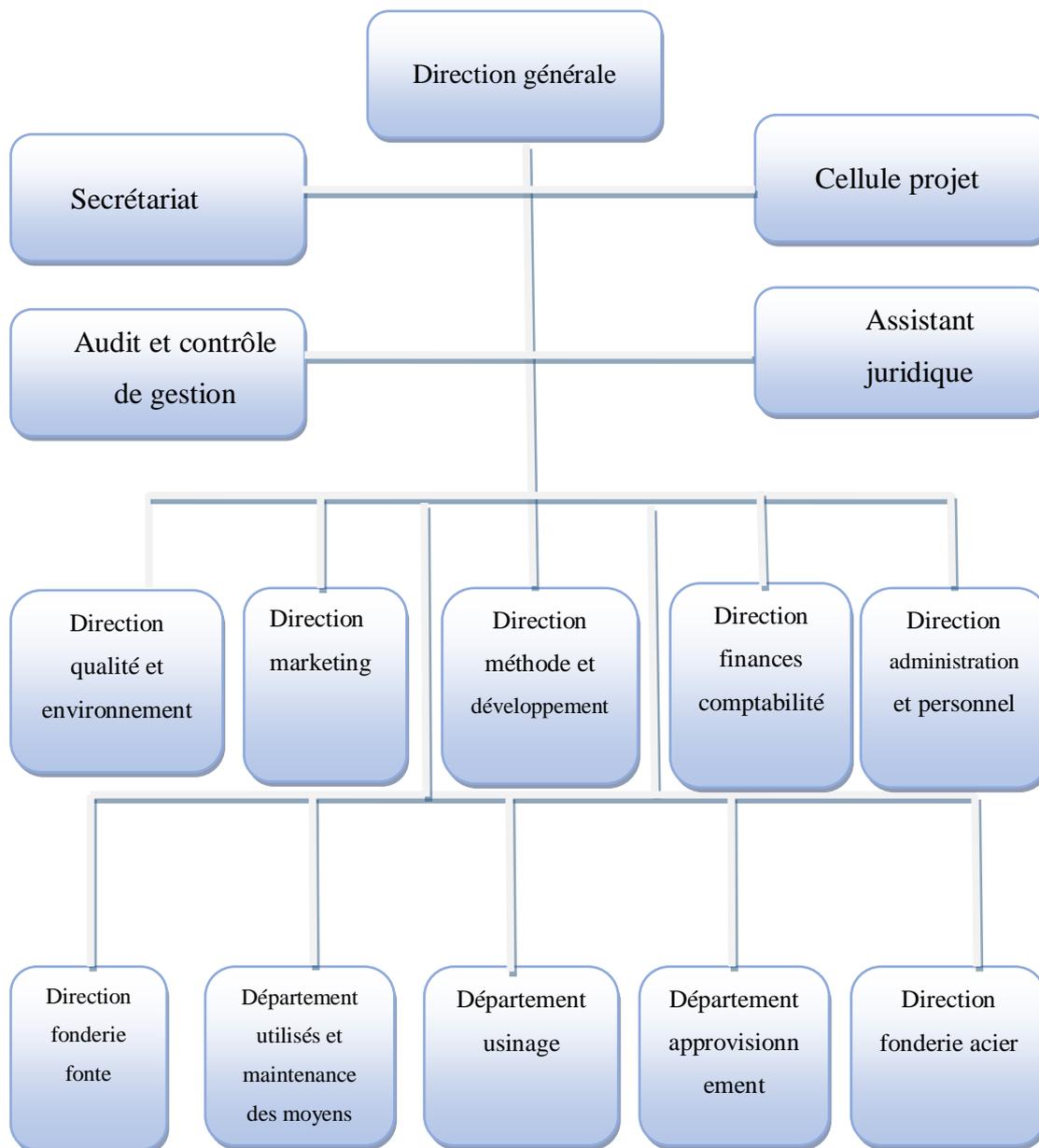


Figure III.1 : Organisation de la filiale SPA

➤ Le système management intégré (qualité- environnement- sécurité et santé au travail) qui sera mise en œuvre au niveau de la filiale FOT est basé sur les principes des normes et référentiels suivants :

- **Qualité** : ISO 9001 V 2008.
- **Environnement** : ISO 14001 V 2004.
- **Sécurité et santé au travail** : OHSAS 18001 v 2007.

➤ La rigueur et la discipline technologique introduites par le SMQ ont transformé le comportement du personnel au travail, ce qui a été à l'origine non-seulement de la certification de la filiale mais aussi de l'amélioration sensible de ses performances. Ce sont là, incontestablement les prémices d'une culture managériale moderne, seule à même de permettre à nos entreprise une insertion dynamique dans la nouvelle division internationale du travail.

III.2.6. Les différents ateliers

La filiale FOT est composée principalement de quatre ateliers :

- Atelier de fusion
- Atelier de moulage
- Atelier de la sablerie
- Atelier de parachèvement des produits moulet (décochage, ébarbage, finition...).

III.2.7. L'unité de la fonderie de fonte

➤ Atelier de fusion de la fonte

Contient 2 fours à arc chacun pour la fusion de fonte, on a besoin de fer brut, le pourcentage de carbone C indique le genre de fonte, et Si (Silicium), Mn (manganèse), P(phosphore), S(Soufre), pour des performances différentes.



Figure III.2 : Atelier de fusion de la fonte

➤ **Atelier de sablerie**

Pour faire fondre la fonte on utilise le sable à vert, on le mélange avec l'argile (bentonite) et l'eau, et atelier est doté de deux mélangeurs de capacité 1250 kg.



Figure III.2 : Atelier de sablerie

➤ **Atelier de moulage**



Figure III.2 : Atelier de moulage

➤ **Atelier de moulage mécanique**

On moule dans cet atelier une grande quantité de pièces de moyennes dimensions, elle comprend deux chantiers de moulage avec deux lignes de moulage semi-automatique $500*620*200*150$ et quatre machines à mouler par secousse et pression et deux machine à démouler le châssis pour le déplacer vers l'atelier d'ébarbage.

➤ **Atelier de moulage à main**

On moule dans cet atelier la grande pièce et la petite pièce et se compose par un chantier de moulage manuel avec malaxeur à vis rapide (25M3/H) et un pont roulant de 25/5 tonnes pour déplacer les pièces à l'atelier d'ébarbage.

➤ **Atelier d'ébarbage de fonte**

On élimine les bavures des pièces moulées à partir des instruments manuels pour les grandes pièces et machine d'ébarbage pour les petites pièces. Il contient : des sableuses à projection de grenaille, des meuleuses et des tambours de dessablage.



Figure III.3 : Atelier d'ébarbage de fonte

➤ **Atelier d'ébarbage de petites et moyennes pièces**

Ici les pièces sont réparties en deux l'une valable à l'expédition et l'autre non valable pour le recyclage.

➤ **Atelier d'ébarbage de grandes pièces**

Les grandes pièces sont ébarbées manuellement avant l'expédition

➤ **Atelier de traitement thermique**

L'atelier de traitement thermique destiné pour le traitement des boulets de broyage chauffé jusqu'à 900 C° et reste le four thermique 12 heures jusqu'à 16 heures pour être solidement utilisée.

➤ **Atelier d'expédition**

Au service commercial on relève les statiques de production (le poids, le nombre des pièces).

III.2.8. La Line de production

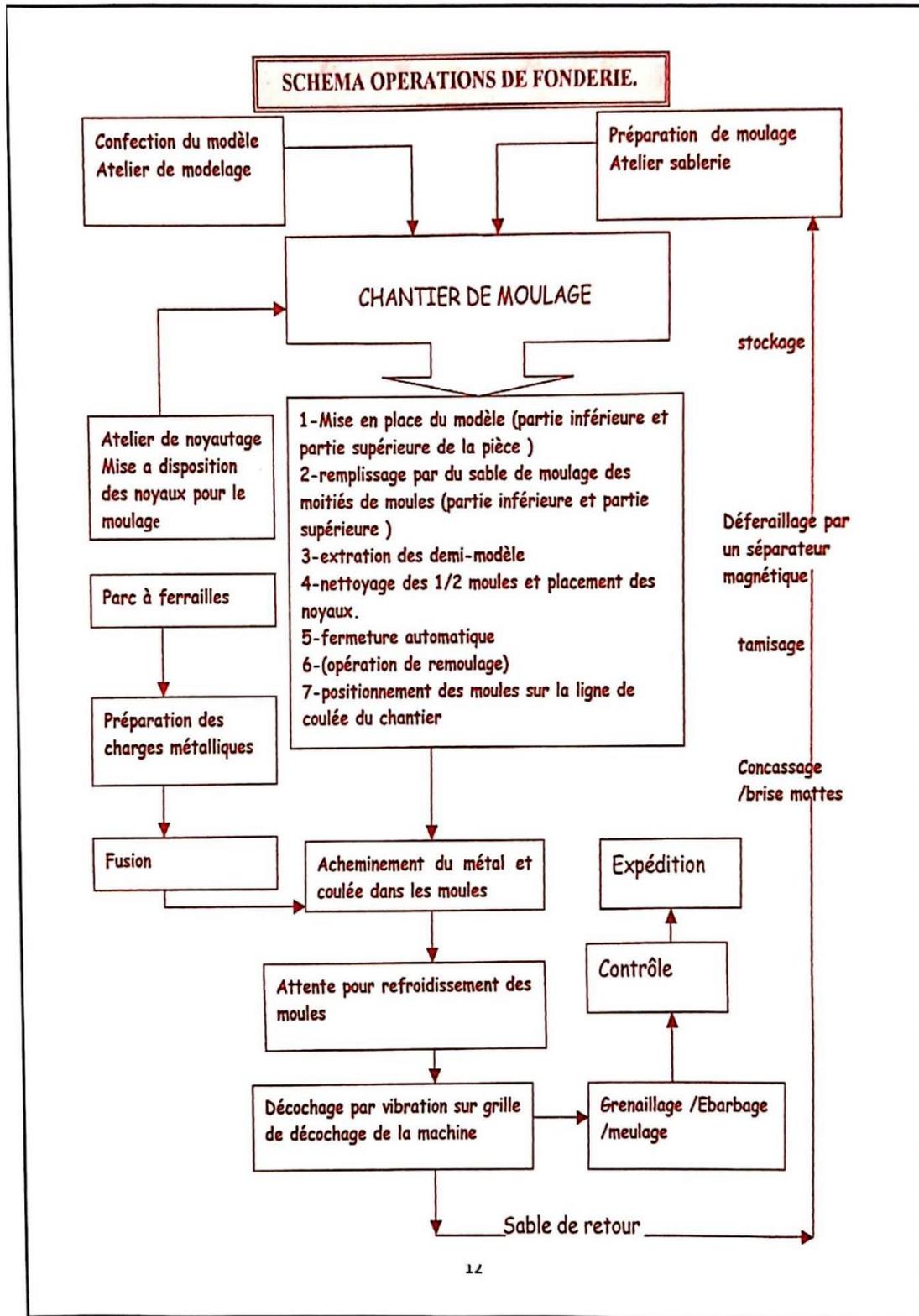


Figure III.4 : La Line de production

III.3. Présentation d'historique des pannes d'un line de production

machine	Date de démarrage	Nb défaillance	Temps réparé
Four arc 2	03/07/2022 19/09/2022	9	40.29 h
Grenailleuse a tambour	03/11/2022 06/02/2023	6	17.56 h
Pont roulant 8	13/07/2022 09/02/2023	5	13.99 h
Four arc 1	04/07/2022 09/02/2023	26	22h 5 min
meule pendulaire 6	20/07/2022 20/02/2023	7	3.75 h
Pont roulant 3	18/07/2022 04/10/2022	2	4 h
Desableuse a voie suspendu VK3	19/07/2022 22/01/2023	9	22.24 h
Machine a mouler	27/07/2022	1	1 h
Station hydraulique	16/12/2022	1	0.5 h
Transporteur a mouvement	17/07/2022 12/12/2022	5	5.41 h
Pont roulant 17	04/09/2022 28/11/2022	6	10 h

Tableau III.2. : Historique des pannes

III.3.1. Méthode d'analyse prévisionnelle de Pareto

➤ Cumul des défaillances

Afin de réaliser la méthode d'analyse de Pareto. On va classer les nombres des défaillances de tableau :

	Machine	Nb de défaillance	Cumul	Cumul %
M 1	Four arc 2	26	26	33.76
M 2	Four arc 1	9	35	45.45
M 3	Desableuse a voie suspendu VK3	9	44	57.14
M 4	meule pendulaire 6	7	51	66.23
M 5	Grenailleuse a tambour	6	57	74.02
M 6	Pont roulant 17	6	63	81.81
M 7	Transporteur a mouvement	5	68	88.34
M 8	Pont roulant 8	5	73	94.80
M 9	Pont roulant 3	2	75	97.4
M 10	Station hydraulique	1	76	98.7
M 11	Machine a mouler	1	77	100

Tableau III.3 : Cumul nombre de défaillance

➤ Sélection de l'équipement

En utilisant la courbe « ABC » ou « Pareto » on peut sélectionner l'équipement ou l'organe à prendre en considération dans notre étude

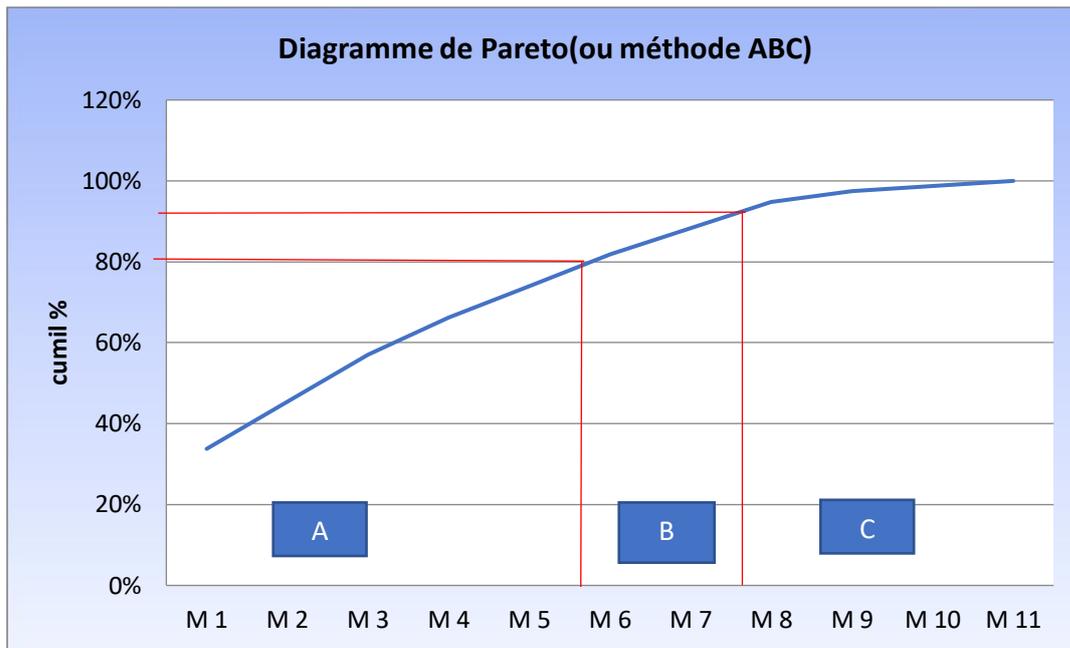


Figure III.4: Diagramme de Pareto (ou méthode ABC)

Ce diagramme a des plusieurs noms, parmi eux on a la règle des 80/20, la méthode ABC, il Représente les machines en fonction du pourcentage du nombre de défaillance.

Ainsi la courbe « ABC » nous a permis de classer les équipements en trois catégories (A, B et C). Vu les résultats obtenus par la courbe ABC, on doit opter pour un suivi particulier des sous-ensembles de la classe « A » et un suivi spécifique pour les sous-ensembles des classes « B » et « C ».

Interprétation de la courbe Pareto

- ❖ **Zone A** : Cette zone est limitée à 80% les défaillances. C'est la zone de priorité qui correspond à la maintenance préventive. S'agit des machines (Four arc 1/2, Desableuse a voie suspendu VK3, meule pendulaire 6, Grenailleuse a tambour)
- ❖ **Zone B** : Cette zone est délimitée entre 15% les défaillances. C'est une zone de pannes moins prioritaires que celles de la zone A S'agit des machines (Pont roulant 17, Transporteur a mouvement)
- ❖ **Zone C** : Dans cette zone les 5% de défaillances restantes ne représentent qu'ont 40% de la défaillance. C'est généralement des pannes négligées.

Grâce à cette analyse, nous pouvons conclure que les raisons de l'arrêt le plus souvent Le plus important est l'usure physique et l'erreur de conception

Commentaire

Nous avons remarqué que le four à arc électrique est la machine la plus impactée et critique en termes de temps et de coût.

La classification en zones A, B et C permet aux gestionnaires de concentrer leurs efforts sur les éléments les plus critiques tout en adoptant une approche plus économique pour les éléments de moindre importance. Cela permet d'optimiser les ressources et de prédéterminer les décisions de maintenance, de réparation et d'approbation, afin de garantir que la fonction est efficace et fiable dans le système de production.

III.4. Historique des pannes de four a arc

D'après le document relatif à l'historique des interventions sur les pannes du four arc.

Prélever les informations classées dans le tableau suivant (Tableau N°). L'historique.

Concerne la période du 04/07/2022 au 09/02/2023 et qui compte 26 interventions.

A travers nos interventions, nous avons découvert défaillance qui nécessitent ces interventions

Ordre de Travail	Date	Intervention	défaillance
002/22	4/07/22	(Soufflage de la mâchoire et nettoyage, réglage du vérin De l'électrode N°2	Obstruction des orifices de soufflage Endommagement de la mâchoire centrale Vérin mal réglé problème de fonctionnement du vérin
01	4/09/22	(Soudure d'échelle pour la fosse du four	Mauvaise qualité de la soudure, défaillance de l'échelle
62	9/09/22	Changement de flexible de refroidissement et 10coliers de serrage	Fuites au niveau des connexions des flexibles, colliers mal serrés
69	3/10/22	(Réglage du vérin de l'électrode et serrage des boulons	Vérin mal réglé, boulons mal serrés

76	0/10/22	Réglage d'électrode et serrage des boulons serrage	Vérin mal réglé, boulons mal serrés
80	2/10/22	Démontage du couvercle ; changement du couvercle Rénove et serrage des boulons du bras de fours	Mauvais montage du couvercle, mauvaise qualité du nouveau couvercle
94	3/10/22	Changement de la porte, changement de flexible de refroidissement de longueur de 02 mètres et 02 colliers et serrage	Mauvais montage de la nouvelle porte, fuites au niveau de la porte Fuites au niveau des connexions des flexibles, colliers mal serrés
92	0/10/22	Changement du purgeur du bras n 01 d'électrode et serrage et réglage	Mauvais montage du nouveau purgeur, fuites au niveau du purgeur
91	0/10/22	Changement du purgeur du bras n 02 d'électrode et serrage et réglage	Mauvais montage du nouveau purgeur, fuites au niveau du purgeur
96	4/10/22	Débouchage du bras 01 et 03. remplissage de 04 litres d'acide (esprit de sel) au niveau des mâchoires central gauche, droite et soufflement des deux bras par Lair comprime	Mauvais débouchage des bras, fuites au niveau des mâchoires, surdosage ou sous-dosage d'acide
09/11/22	07	Réglage de la mâchoire centrale et réglage du vérin	Mâchoire mal réglée, vérin mal réglé
17/11/22	20	Réglage du vérin de la mâchoire centrale bras n01 I chat d'électrode	Vérin mal réglé, problème de fonctionnement du vérin

22/11/22	22	Réparation de la manette du couvercle serrage des 03 flexibles des 03 vérins. Serrage des flexible de refroidissement, serrage des colliers, réparation de la fuite du bassin de lubrifiant, changement de manchon 040. Soudure d'un code 022 et remplissage de 10litre TASFALOUT	Mauvaise réparation de la manette, fuites persistantes au niveau du couvercle Colliers mal serrés, fuites persistantes au niveau des flexibles, mauvaise réparation de la fuite du bassin de lubrifiant Mauvais montage du nouveau manchon, mauvaise qualité de la soudure, fuites persistantes au niveau du bassin de lubrifiant
27/11/22	30	Soudure des embouts de la porte du four et serrage des boulons	Mauvaise qualité de la soudure , boulons mal serrés
30/11/22	35	Changement des boutons au niveau du sélecteur de commande et soudure d'un fils au niveau du pupitre de commande	Boutons défectueux ou mal installés. Soudure incorrecte.
15/01/23	0	Débouchage du mandrin de l'électrode n let serrage des colliers	Mandrin toujours bouché. Colliers mal serrés.
16/01/23	2	Réglage du vérin de l'électrode et serrage des boulons	Mauvais réglage du vérin de l'électrode. Boulons mal serrés
20/01/23	9	Changement de flexible de refroidissement du mandrin	Flexible de refroidissement mal installé ou défectueux.
23/01/23	0	Changement de réflexible de refroidissement au niveau de la mâchoire et serrage des colliers	Réflexible de refroidissement mal installé ou défectueux. Colliers mal serrés.
29/01/23		Changement de 2 tuyaux	Tuyaux de refroidissement

	3	de refroidissement et serrage des colliers	mal installés ou défectueux. Colliers mal serrés.
31/01/23	4	Serrage des colliers et serrage au niveau des mâchoires	Colliers mal serrés. Mâchoires mal serrées.
03/02/23	9	Chigi de distributeur complet. réglage de l'électrovanne	Chigi de distributeur complet. réglage de l'électrovanne

Tableau III.4 : Historique des pannes de four à arc

III.4.1 Identification des composants du four à arc :

- **Électrodes** : Les électrodes sont les pièces conductrices qui transportent le courant électrique dans le four. Elles sont généralement en graphite ou en carbone et sont placées de chaque côté du bain de fusion.
- **Transformateur** : Un transformateur de four à arc est un appareil électrique utilisé dans les fours à arc électriques industriels. Il convertit une tension élevée en une tension adaptée aux besoins spécifiques du four à arc, permettant ainsi de maintenir un arc électrique stable. Cela est crucial pour la fusion des métaux et les opérations de métallurgie. Le transformateur est composé d'un noyau magnétique et de bobines primaires et secondaires, qui génèrent un champ magnétique pour induire le courant nécessaire dans le four à arc. En résumé, le transformateur de four à arc est essentiel pour fournir la tension électrique adéquate et maintenir un arc stable pendant les processus de fusion des métaux.
- **Réseau électrique** : Le réseau électrique qui alimente le four à arc doit être suffisamment puissant pour répondre aux exigences de consommation électrique du four. Des calculs précis sont effectués pour déterminer la capacité électrique nécessaire, en tenant compte de la puissance du four à arc, de l'intensité du courant et des autres équipements connectés au réseau.
- **Système de refroidissement** : Les fours à arc nécessitent souvent un système de refroidissement pour maintenir les températures sous contrôle. Cela peut inclure des tuyaux d'eau ou un système de circulation d'air pour évacuer la chaleur du four.
- **Système de commande** : Le système de commande d'un four à arc est responsable de la gestion et du contrôle des opérations du four, assurant ainsi un fonctionnement efficace et sécurisé. Il se compose d'un panneau de commande centralisé qui permet aux opérateurs de surveiller et de contrôler les paramètres du four, tels que la température, le courant et la

tension. Ce système intègre également des dispositifs de contrôle automatisés tels que des régulateurs de température, de courant et de tension pour maintenir des conditions de fonctionnement optimales. De plus, il peut être programmé pour exécuter des cycles de fusion spécifiques et être connecté à d'autres systèmes de surveillance et de contrôle pour une gestion plus avancée. En résumé, le système de commande d'un four à arc assure le contrôle précis des paramètres et des opérations du four, garantissant un fonctionnement efficace et sécurisé du processus de fusion des métaux.

❖ **Décomposition fonctionnelle**

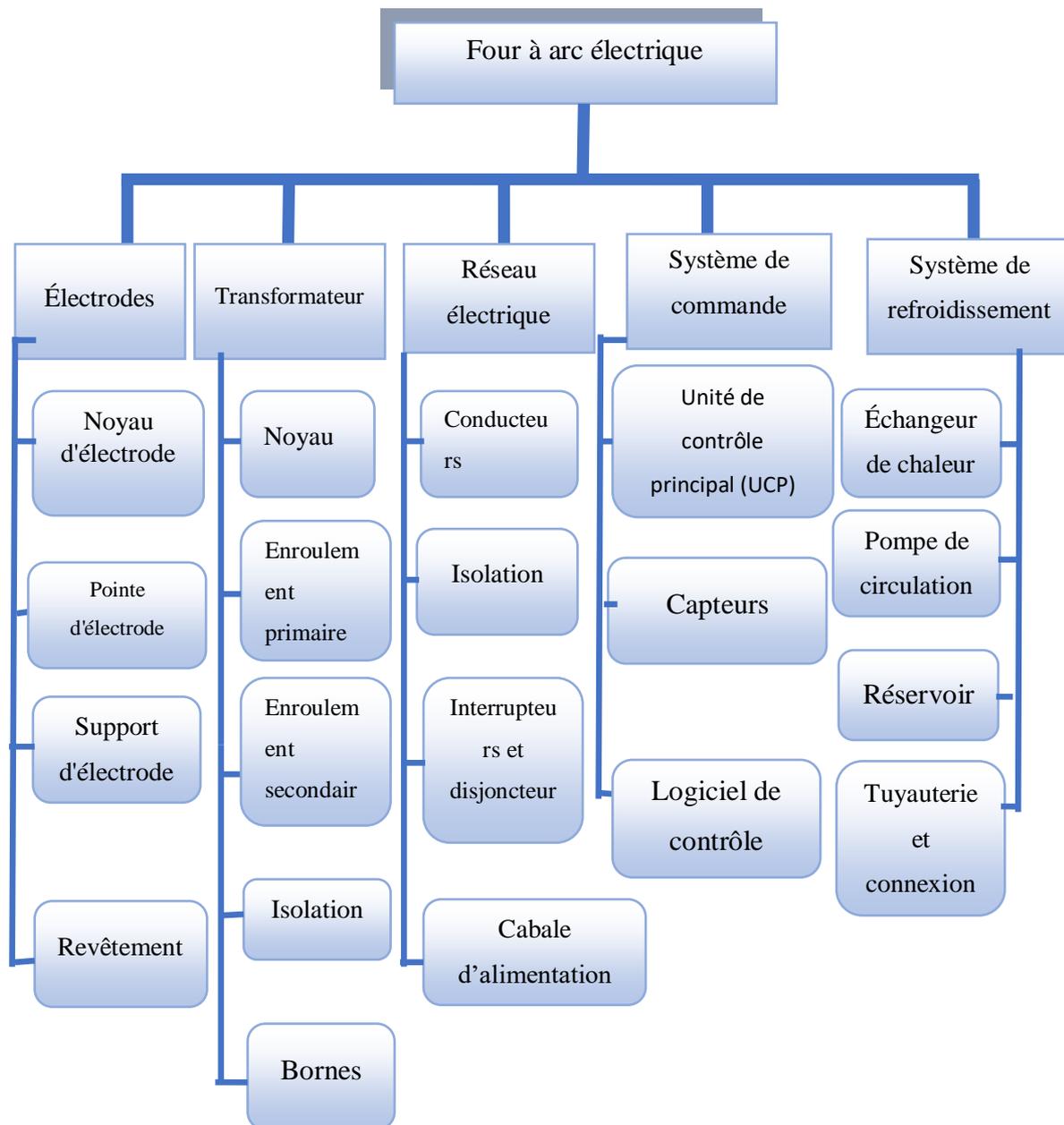


Figure III.5 : Décomposition fonctionnelle de four à arc

III.5. Analyse AMDEC

Elle permet d'élaborer :

- Une analyse des mécanismes de défaillances.
- Une évaluation de la criticité à travers.
- La probabilité d'occurrence **F**.
- La gravité des conséquences **G**.
- La probabilité de non-détection **D**.
- Ces trois paramètres (**F**, **G**, **D**) permettent de définir la criticité **C** : **C=F.G. D** Des actions préventives.

Tableau III.5: AMDEC machine du four à arc électrique.

Date de l'analyse	AMDEC machine – Analyse des modes de défaillance de leurs Effets et leurs Criticités								page : 5	
	Système : Four à arc		Sous -système : les organes essentiels du four à arc			Phase de fonctionnement		Nom :		
Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criti				Action Corrective
						F	G	D	C	
Electrode	utilisés pour créer l'arc électrique dans le four à arc	Usure excessive Fissures ou cassures Mauvaise qualité Déformation	Utilisation prolongée ou excessive Mauvaise manipulation ou stockage Qualité inférieure Défauts de fabrication	Fusion partielle insuffisante, entraînant des soudures de qualité inférieure Diminution de la productivité en raison de remplacements fréquents d'électrodes	Visuel Surveillance du courant	2	2	2	8	Remplacement régulier des électrodes usées ou endommagées Utilisation d'électrodes de meilleure qualité ou adaptées au processus Surveillance accrue de l'état des électrodes lors des inspections visuelles régulières

transformateur	Allumage de l'arc ajuster la tension d'alimentation du four à arc afin de répondre aux exigences spécifiques du processus de fusion ou de chauffage	Vieillessement Court-circuit Surcharge Problème de connexion Défaillance des bobines	Vieillessement naturel Surcharge électrique Mauvaise maintenance ou entretien Environnement de travail défavorable	Perte de puissance, entraînant une baisse des performances du four à arc Risque de surchauffe du transformateur, pouvant entraîner des dommages supplémentaires Interruption de la production en cas de défaillance totale du transformateur Augmentation des coûts de maintenance et de réparation	Visuel Surveillance des paramètres électriques	2	3	3	18	Maintenance préventive régulière, y compris l'inspection et le nettoyage des composants du transformateur Surveillance continue des paramètres électriques pour détecter les signes de défaillance imminente Vérification et amélioration de la capacité de charge du transformateur pour éviter les surcharges
----------------	--	--	---	---	--	---	---	---	----	--

Réseau électrique	Fournit l'énergie électrique nécessaire au fonctionnement d'un four à arc	Câbles endommagés ou coupés Court-circuit Mauvaise connexion Surcharge Problème d'isolement	Tension ou courant excessif Mauvaise installation ou connexion Utilisation de câbles de mauvaise qualité	Perte de puissance ou de courant, impactant la qualité des soudures Risque de court-circuit, pouvant endommager d'autres composants électriques Risque d'arrêt de production en cas de coupure complète des câbles	Inspection visuelle périodique	1	2	2	4	Amélioration des méthodes d'installation pour éviter les contraintes excessives sur les câbles Analyse des perturbations électriques Équilibrage de la charge Calibration des dispositifs de protection
--------------------------	---	---	--	--	--------------------------------	---	---	---	---	--

<p>Système de refroidissement</p>	<p>Refroidissement maintenir les températures sous contrôle et éviter les dommages aux composants du four</p>	<p>Défaillance de la pompe de refroidissement Obstructions dans les canalisations de refroidissement Fuites Mauvais fonctionnement des radiateurs Problème de circulation du fluide de refroidissement</p>	<p>Maintenance inadéquate ou insuffisante Défaut de fonctionnement des pompes ou des ventilateurs Encrassement des canalisations ou des échangeurs thermiques Fuites de liquide de refroidissement Problèmes de circulation ou de débit</p>	<p>Surchauffe du four à arc, entraînant une détérioration des pièces et des soudures Diminution de la durée de vie des composants électriques et électroniques Risque de dommages structurels dus à une température excessive Arrêt de la production en cas de défaillance complète du système de refroidissement</p>	<p>Visuelle Surveillance des températures</p>	<p>2</p>	<p>3</p>	<p>2</p>	<p>12</p>	<p>Maintenance préventive régulière du système de refroidissement, y compris le nettoyage des composants et le remplacement des pièces usées Surveillance continue des températures et des débits pour détecter les variations ou les anomalies Réparation des fuites et remplacement des composants défectueux du système de refroidissement Amélioration de la conception du système de refroidissement</p>
--	---	--	---	---	---	----------	----------	----------	-----------	---

										pour assurer une meilleure dissipation de la chaleur
Système de command	Extraction de la pièce Contrôler le fonctionnement du four à arc électrique contrôler les systèmes auxiliaires et d'assurer la sécurité des opérations.	Problème électrique Défaillance des capteurs de contrôle Erreur de programmation Problème de communication Mauvais fonctionnement des actionneurs	Défaillance des composants électroniques Erreur de programmation ou de configuration Problèmes de communication entre les composants Mauvaise maintenance ou surveillance	Perte de contrôle de l'arc, pouvant entraîner des soudures incohérentes ou défectueuses Interruption de la production en cas de défaillance du système de commande	Visuelle Surveillance des paramètres de commande	2	3	2	12	Maintenance et mise à jour régulières du système de commande, y compris les logiciels et les composants matériels Vérification de la communication entre les différents composants du système de commande Formation et recyclage des opérateurs sur l'utilisation et la programmation correcte du système de commande

Synthèse ou évaluation de la criticité

A partir du tableau AMDEC on a hiérarchisé les défaillances selon le seuil de criticité, les éléments dont la criticité atteint le seuil demande des actions correctives, ainsi ceux qui ont la gravité et la fréquence entre 1 et 3 doivent entraîner une action corrective de conception, même si la criticité n'atteint pas le seuil fixé.

- $1 \leq C < 16$: Aucune modification ; maintenance corrective.

Ex : changement d'accouplement ; serrage de système de fixation.

- $16 \leq C < 24$: Acceptable mais surveillance particulière

EX : maintenance préventive conditionnelle et pièces de rechange associées.

- $24 \leq C < 64$: Remise en cause complète de la conception.

Plan de la maintenance préventive

- **Inspection régulière des électrodes :**

- ✓ Vérifier l'état des électrodes, notamment l'usure, les dommages ou les déformations.
- ✓ Remplacer les électrodes usées ou endommagées selon un calendrier préétabli.
- ✓ S'assurer de l'utilisation d'électrodes de qualité appropriée et adaptées au processus de soudage.

- **Maintenance du transformateur :**

- ✓ Effectuer des inspections régulières du transformateur pour détecter les signes de surchauffe, de fuites ou de défaillance imminente.
- ✓ Nettoyer les composants du transformateur pour éliminer les accumulations de poussière ou de saleté.
- ✓ Vérifier et améliorer la capacité de charge du transformateur pour éviter les surcharges électriques.

- **Entretien de Réseau électrique :**

- ✓ Inspecter les câbles d'alimentation pour détecter les dommages, les coupures ou les connexions lâches.
- ✓ Utiliser des méthodes d'installation appropriées pour éviter les contraintes excessives sur les câbles.

- ✓ Effectuer des mesures régulières de tension et de puissance pour s'assurer qu'elles sont conformes aux spécifications du four à arc.
- ✓ Il est recommandé de suivre les recommandations du fabricant du four à arc et de respecter les réglementations et normes en vigueur pour la maintenance du réseau électrique.
- **Maintenance du système de refroidissement :**
 - ✓ Effectuer des opérations de nettoyage régulières pour éliminer les obstructions et les accumulations de saleté dans le système de refroidissement.
 - ✓ Vérifier les températures et les débits pour détecter toute variation ou anomalie.
 - ✓ Réparer les fuites et remplacer les composants défectueux du système de refroidissement
- **Maintenance du système de commande :**
 - ✓ Mettre à jour les logiciels et les composants matériels du système de commande selon les recommandations du fabricant.
 - ✓ Vérifier la communication entre les différents composants du système de commande.
 - ✓ Former régulièrement les opérateurs sur l'utilisation et la programmation correcte du système de commande.
- ❖ **Calendrier de maintenance préventive :**
 - ✓ Établir un calendrier régulier pour les activités de maintenance préventive, en tenant compte des recommandations du fabricant et des exigences spécifiques du four à arc.
 - ✓ Documenter toutes les activités de maintenance effectuées, y compris les inspections, les réparations et les remplacements.
 - ✓ Effectuer des suivis et des évaluations périodiques de l'efficacité du plan de maintenance pour identifier les opportunités d'amélioration.
 - ✓ Il est important de noter que ce plan de maintenance préventive doit être adapté en fonction des spécificités du four à arc utilisé et des recommandations du fabricant.

III.6. L'analyse FMD

III.6.1. Fiabilité opérationnelle

Le tableau suivant comporte les **TBF** classés par ordre croissant, et les calculés par la méthode des rangs médians (Dans notre cas $N = 50 \geq 23 \geq 20$) selon la relation :

$$F(i) = \frac{ni}{N + 1}$$

Après le calcul de $F(t_i)$ on a calculé la fiabilité et le taux de défaillance $\lambda(t)$ par les équations suivantes :

$$\lambda = \frac{F'(t)}{R(t)} = \frac{F(i + \Delta t) - F(i)}{R(t)}$$

Avec

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

Tableau III.6 : les valeurs de $F(t)$, $R(t)$ et $\lambda(t)$.

MTTF	Ti	ni	Ni	F(i)	F (ti)	R(t)	λ
[0,1000[	1000	2	0	0	0	1	0.043
[1000,1500[	1500	1	1	0.043	0.043	0.957	0.044
[1500,2000[	2000	1	2	0.043	0.086	0.914	0.189
[2000,2500[	2500	4	6	0.173	0.259	0.741	0.116
[2500,3000[	3000	2	8	0.086	0.345	0.655	0.198
[3000,3500[	3500	3	11	0.130	0.475	0.525	0.163
[3500,4000[	4000	2	13	0.086	0.561	0.439	0.097
[4000,4500[	4500	1	14	0.043	0.604	0.396	0.540
[4500 ,5000[	5000	5	19	0.214	0.818	0.182	0.95
[5000,5500]	5500	3	22	0.130	0.948	0.052	1
		22					

D'après les calculs précédents du tableau (III.3), nous avons réussi à tracer la courbe de $F(t)$, $R(t)$

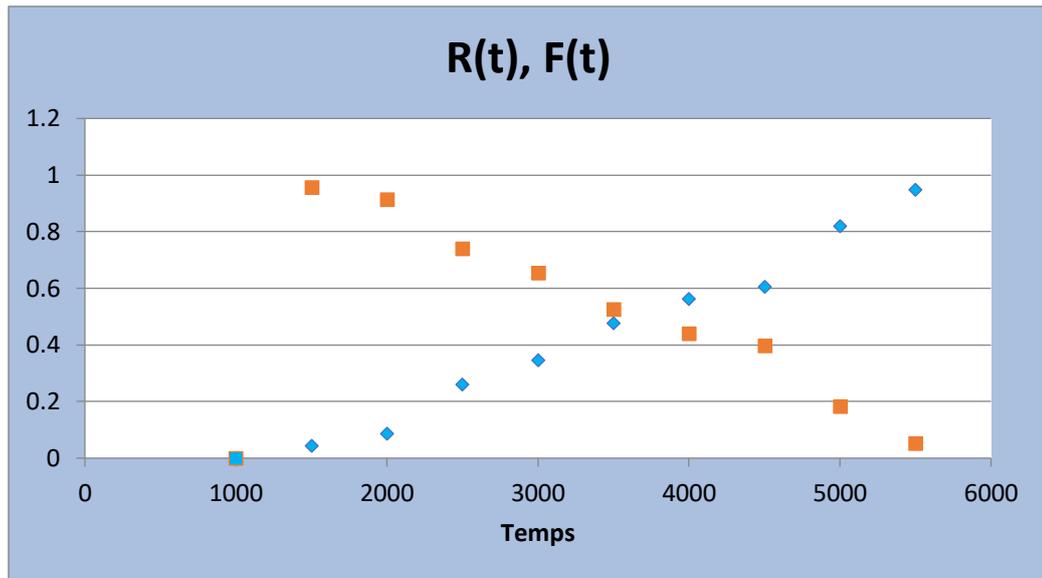


Figure III.6 : courbe de F(t), R(t)

D'après les calculs précédents du tableau (III.3), nous avons réussi à tracer la courbe de taux de défaillance $\lambda(t)$.

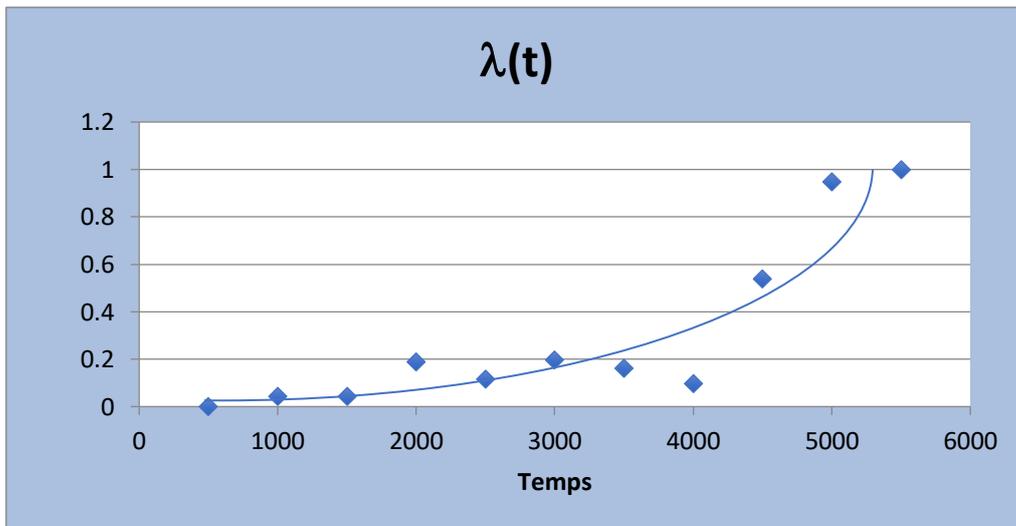


Figure III.7: courbe présente l'évolution de la fonction de taux de défaillance $\lambda(t)$.

Commentaire :

D'après cette figure on remarque que le taux de défaillance et croissant avec le temps

Calcul les indicateurs MTBF

Le calcul des indicateur MTBF, Di se faire comme suite :

D'après les relations :

$$MTBF = \frac{\sum TBF}{NOMBRE DE BON FONCTION}$$

A.N:

$$MTBF = \frac{5500}{22} = 250 \text{ heur}$$

III.6.2. Fiabilité prévisionnelle

Dans cette partie on utilise la loi de Weibull comme modèle pour estimer une loi de fiabilité.

III.6.2.1 Calcule les paramètres de weibull

Le tableau suivant présente les TBF classés par ordre croissant, et les $F(t_i)$ calculés par la méthode des rangs médians.

On complète le tableau puis on trace la courbe de Weibull :

Tableau III.7 : les valeurs de $F(t)$ en %

MTTF	Ti	ni	F(i)	F (ti)	F (ti)%
[0,1000[	1000	0	0	0	0
[1000,1500[	1500	1	0.043	0.043	4.3
[1500,2000[	2000	1	0.043	0.086	8.6
[2000,2500[	2500	4	0.173	0.259	25.9
[2500,3000[	3000	2	0.086	0.345	34.5
[3000,3500[	3500	3	0.130	0.475	47.5
[3500,4000[	4000	2	0.086	0.561	56.1
[4000,4500[	4500	1	0.043	0.604	60.4
[4500 ,5000[	5000	5	0.214	0.818	81.8
[5000,5500]	5500	3	0.130	0.948	94.8
		22	1		100

D'après les calculs précédents du tableau (III.4), nous avons réussi à tracer la courbe de Weibull représentée ci-dessous :

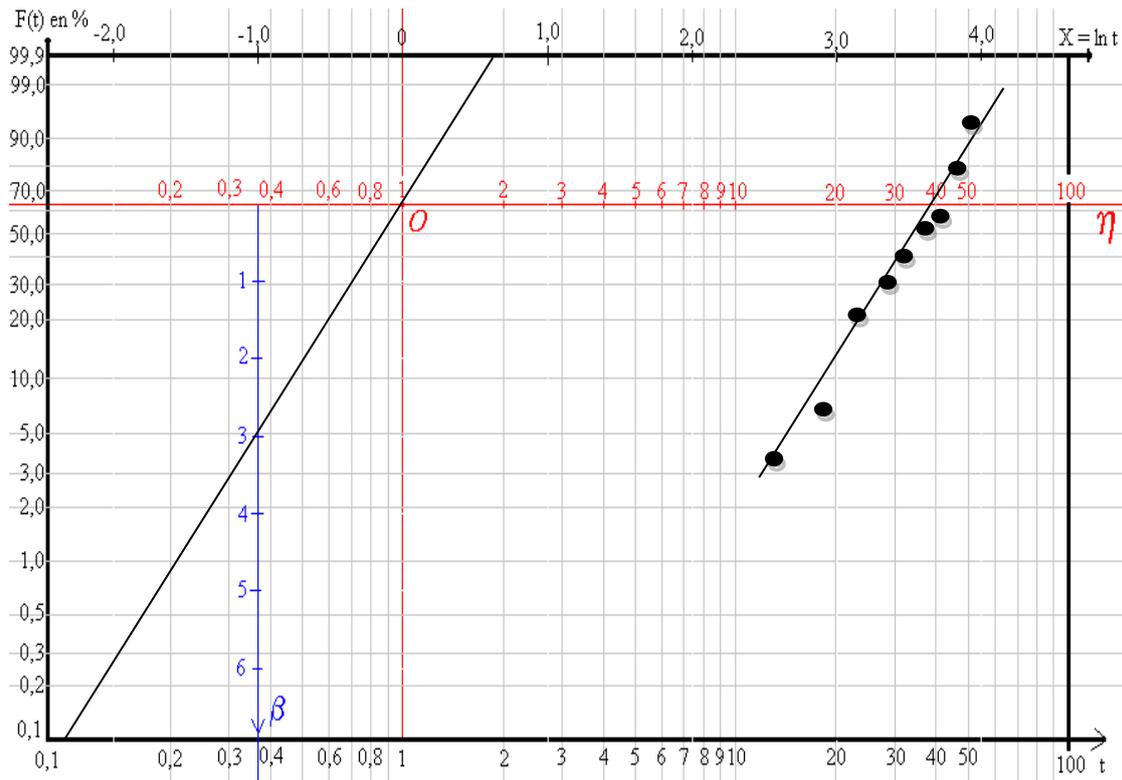


Figure III.8 : La représentation graphique de la fonction de répartition sur le papier de Weibull

- A partir du papier de Weibull de la figure (III.5), nous pouvons tirer les trois paramètres nécessaires :

Tableau III.8 : Paramètres de calcul de la fiabilité

Paramètres	Valeur
Eta (η)	4000
Beta (β)	3
Gamma (γ)	0

III.6.2.2. Exploitation des paramètres de Weibull

On doit déterminer toute moyenne des temps de bon fonctionnement Pour bien exploiter les paramètres de Weibull

D'après la relation : $MTBF=A\eta+\gamma$

D'après les paramètres de calcul de fiabilité on a : $\beta = 3$

On a $A=0.89298$ et $B=0.32455$ (voir annexe 1).

AN : $MTBF=0.89298*4000+0$

$MTBF=3571.92$ heur

❖ **La densité de probabilité en fonction de MTBF :**

D'après l'équation de $F(t)$:

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

AN :

$$f(t) = \frac{3}{4000} \left(\frac{3571.92 - 0}{4000} \right)^{3-1} \times e^{-\left(\frac{3571.92-0}{4000}\right)^3}$$

$$F(t = MTBF) = 0.00029344$$

$$f(MTBF) = 0.029344\%$$

❖ **La fonction de défaillance**

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

AN:

$$F(MTBF) = 1 - e^{-\left(\frac{3571.92-0}{4000}\right)^3}$$

La fonction de répartition en fonction de MTBF :

$$F(MTBF) = 0.5093$$

❖ **La fiabilité**

D'après l'équation de $R(t)$: $R(t) = 1 - F(t)$

La fonction de fiabilité en fonction de MTBF

$$R(MTBF) = 1 - 0.5093$$

$$R(MTBF) = 0.4907 = 49.07\%$$

❖ **Le taux de défaillance en fonction de MTBF**

L'équation de $\lambda(t)$: $\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1}$

AN:

$$\lambda(t) = \frac{3}{4000} \left(\frac{3571.92 - 0}{4000} \right)^{3-1}$$

$$\lambda(t) = 0.00059806 \text{ panne/heure.}$$

❖ **Calcul du temps souhaitable pour une intervention systématique :** Pour une fiabilité de 80% on va essayer de déterminer le temps souhaitable pour organiser une intervention systématique. On peut exprimer cela comme suit :

$$R(t)=80\% \rightarrow t=?$$

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

$$\ln R(t) = -\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta = \ln(0.8) \Leftrightarrow -\left[\ln\left(\frac{1}{R(t)}\right)\right]^{\frac{1}{\beta}} = -\frac{t}{\eta} \Rightarrow t = \eta \left[\ln\left(\frac{1}{R(t)}\right)\right]^{\frac{1}{\beta}}$$

AN : **t = 2426.17 heure**

Pour garder la fiabilité du four à induction à 80% il faut intervenir chaque temps systématique égale à : 2426.17 heures.

III.6.2.3. Étude du modèle de Weibull

Pour le modèle de Weibull on a l'analyse suivante :

❖ **La fonction de la densité de probabilité** : La fonction de la densité de probabilité est donnée par la relation

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

Tableau III.9: Calcul de la fonction de la densité de probabilité.

TBF	$f(t) \times 10^{-4}$
1000	0.115
1500	0.953
2000	1.654
2500	2.294
3000	2.766
3500	2.938
4000	2.758
4500	2.284
5000	1.66
5500	1.052

A partir des calculs précédents du tableau, on a tracé la courbe suivante

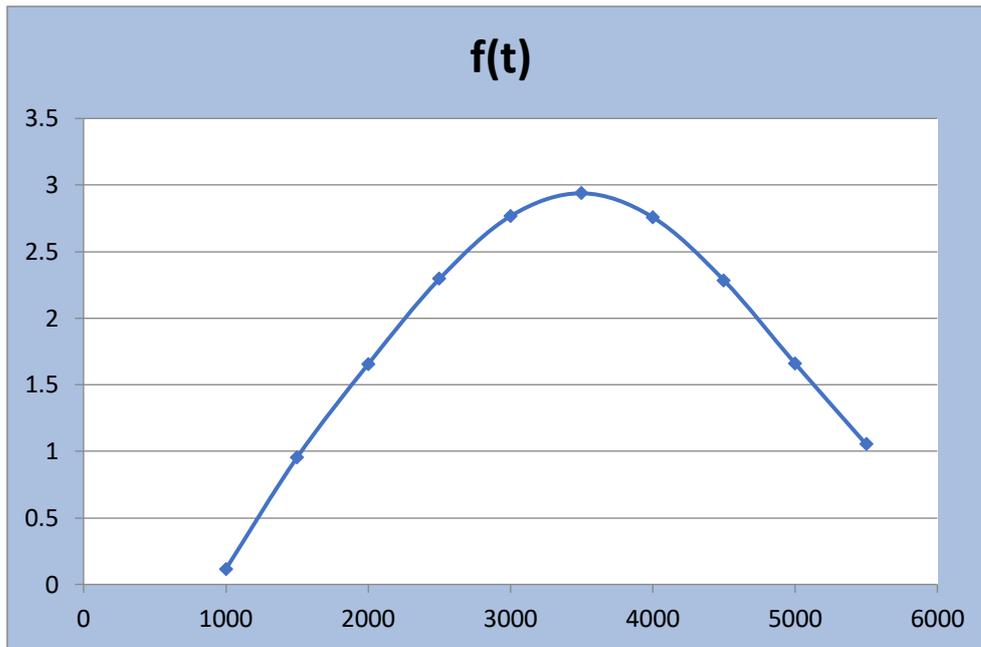


Figure III.9: La Courbe de La fonction de la densité de probabilité

Le graphique de la figure (III.9) représente la variation de la fonction de la densité de probabilité en fonction du temps de bon fonctionnement.

❖ **Fonction de défaillance F(t)**

La fonction de répartition est donnée par la relation

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

De cette relation on obtient les résultats illustrés au tableau

Tableau III.10: Calcul la Fonction Répartition.

TBF	F(t)
1000	0.0156
1500	0.0514
2000	0.1175
2500	0.2166
3000	0.3441
3500	0.4882
4000	0.6321
4500	0.7592
5000	0.8581
5500	0.9256

A partir les calculs précédents du tableau, on a pu tracer la courbe suivante :

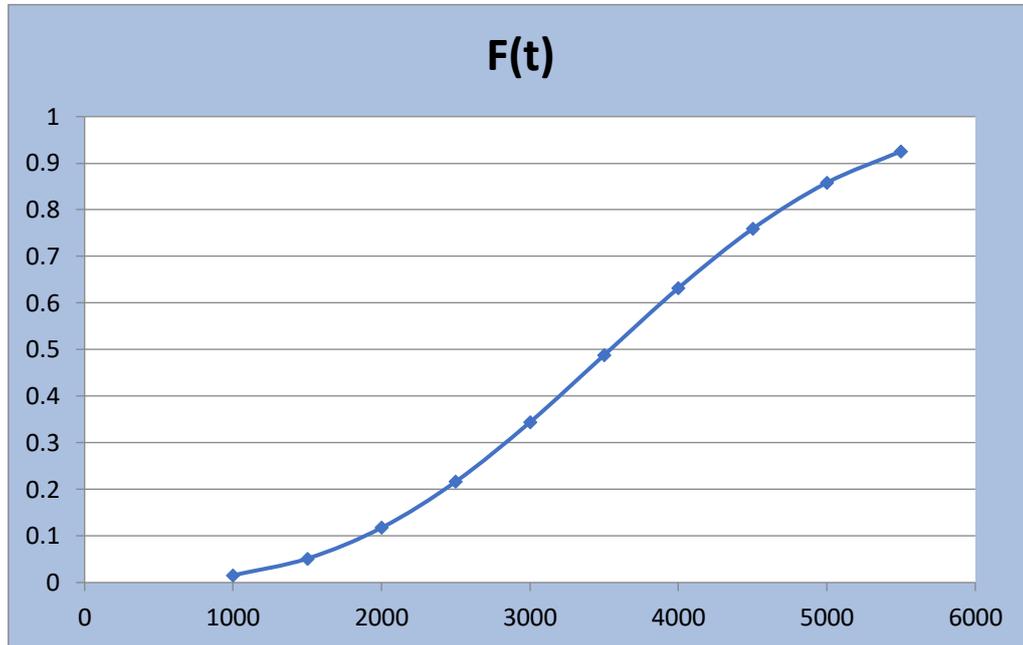


Figure III.10: La Courbe de Fonction Répartition.

➤ La courbe de la figure (III.10), donne la présentation graphique de la fonction de répartition en fonction du temps de bon fonctionnement en heure.

On remarque que l'évolution du graphique est croissant sous une forme non linéaire. Cette allure nous fait dire que la défaillance augmente avec l'évolution du temps.

❖ **La fiabilité**

La fiabilité peut être calculée à partir de la relation

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

Selon les calculs obtenus on trace le tableau suivant :

Tableau III.11 : Calcul de la fiabilité

TBF	R(t)
1000	0.9844
1500	0.9486
2000	0.8825
2500	0.7834
3000	0.6559
3500	0.5118
4000	0.3679
4500	0.2408
5000	0.1419
5500	0.0744

A partir les calculs précédents du **tableau (III.11)**, on a tracé la courbe suivant :

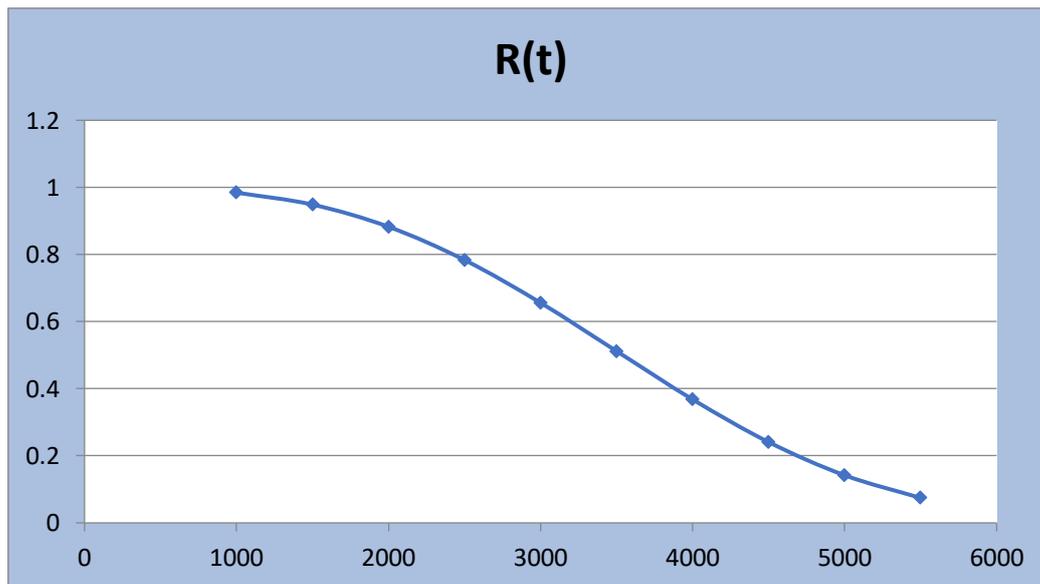


Figure III.11 : La Courbe de la fonction de Fiabilité.

La figure présente l'évolution de la fonction de Fiabilité. Le graphe décroissant en fonction de temps ce qui fait expliquer par le phénomène de dégradation

❖ **Le taux de défaillance :**

Le taux de défaillance peut être calculé selon la formule :

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

Après calcul, on trace les résultats obtenus sur le tableau suivant :

Tableau III.12. Calcul du taux de défaillance

TBF	$\lambda \times 10^{-4}$
1000	0.468
1500	1.054
2000	1.875
2500	2.929
3000	4.215
3500	5.742
4000	7.5
4500	9.492
5000	11.718
5500	14.179

A partir les calculs précédents du tableau (III.12), on a tracé la courbe suivante :

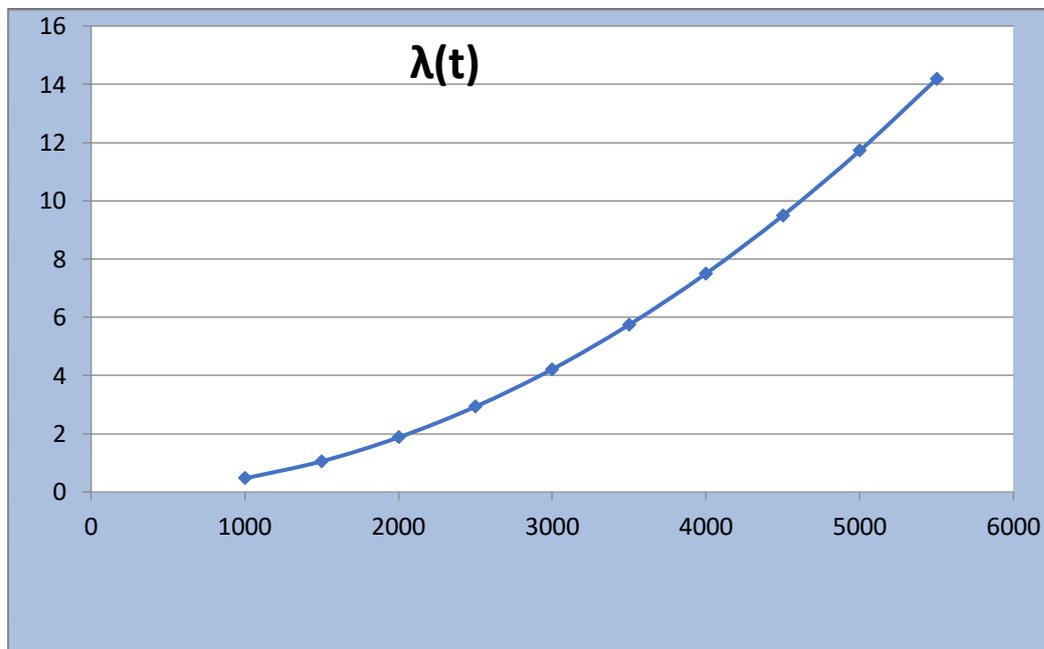


Figure III.12: courbe du taux de défaillance $\lambda(t)$.

La figure présente l'évolution de la fonction de taux de défaillance. On remarque que la courbe croît rapidement

III.7. Conclusion

Ce chapitre a porté sur une analyse approfondie d'une ligne de production en utilisant à la fois des méthodes qualitatives et quantitatives. Grâce à cette analyse, nous avons pu mesurer la fréquence et la gravité des défauts, ce qui nous a permis d'identifier les problèmes les plus critiques nécessitant une attention immédiate. Nous avons évalué la fiabilité opérationnelle de la ligne de production en analysant les données historiques fournies par l'entreprise FOT.

. Les résultats de notre étude ont révélé une faible fiabilité de seulement 49,07 %. Afin de maintenir la fiabilité à un niveau de 80 %, il serait nécessaire d'effectuer une intervention toutes les 2426,17 heures.

Conclusion générale

À la fin, une étude a été menée sur un ensemble d'équipements de production, y compris le four électrique, dans le but d'améliorer les performances des systèmes de production en améliorant la quantité et la qualité. Trois principales méthodes ont été privilégiées pour atteindre cet objectif :

1. La méthode ABC (Activity-Based Costing) : Elle est utilisée pour analyser les coûts liés aux performances des systèmes de production en se basant sur les activités associées. Cette méthode permet d'identifier et d'évaluer les coûts de manière efficace, ce qui contribue à améliorer la gestion et l'allocation des ressources pour améliorer les performances globales des systèmes de production.

2. L'analyse AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) : Elle vise à identifier les défaillances potentielles dans les systèmes de production, évaluer leur impact et leur gravité. Les résultats de cette analyse peuvent être utilisés pour développer des stratégies de maintenance préventive et se concentrer sur la réparation des éléments les plus importants et les plus impactants des équipements de production. L'objectif est d'améliorer la durabilité, la fiabilité et d'éviter les arrêts de production non planifiés.

3. La technologie Fiabilité (Reliability) : Elle se concentre sur la capacité des systèmes de production à exécuter leurs fonctions de manière fiable et régulière. Cela comprend l'analyse des indicateurs de performance, la mesure des périodes de fonctionnement sans défaillance, l'identification et l'amélioration des points faibles pour renforcer l'efficacité et la qualité globale des systèmes de production.

Ces méthodes et techniques sont regroupées dans un processus global basé sur des analyses et des stratégies spécifiques pour améliorer les performances des systèmes de production.

Les éléments clés qui influencent les performances sont identifiés, et les ressources nécessaires pour les réparer et les améliorer sont allouées. Les techniques de gestion des risques et de contrôle de la qualité permettent d'identifier les points faibles, d'améliorer la qualité et la fiabilité, ce qui conduit finalement à l'amélioration globale des performances des systèmes de production.

. Les résultats de notre étude ont révélé une faible fiabilité de seulement 49,07 %. Afin de maintenir la fiabilité à un niveau de 80 %, il serait nécessaire d'effectuer une intervention toutes les 2426,17 heures.

Selon le plan de maintenance et les résultats des études précédentes, nous concluons que le four électrique est le plus important à réparer pour maintenir la continuité de la productivité.

Annexes

Table 01

Distribution de Weibull (valeurs des coefficients A et B en fonction du Paramètre de forme).

β	A	B	β	A	B	β	A	B	β	A	B
0,05	2,43290E+18	9,03280E+23	1,75	0,89062	0,52523	3,45	0,89907	0,28822	5,15	0,91974	0,20505
0,1	3,62880E+06	1,55977E+09	1,8	0,88929	0,51123	3,5	0,89975	0,28473	5,2	0,92025	0,20336
0,15	2,59357E+03	1,21993E+05	1,85	0,88821	0,49811	3,55	0,90043	0,28133	5,25	0,92075	0,20170
0,2	1,20000E+02	1,90116E+03	1,9	0,88736	0,48579	3,6	0,90111	0,27802	5,3	0,92125	0,20006
0,25	2,40000E+01	1,99359E+02	1,95	0,88671	0,47419	3,65	0,90178	0,27479	5,35	0,92175	0,19846
0,3	9,26053E+00	5,00780E+01	2	0,88623	0,46325	3,7	0,90245	0,27164	5,4	0,92224	0,19688
0,35	5,02914E+00	1,99761E+01	2,05	0,88589	0,45291	3,75	0,90312	0,26857	5,45	0,92272	0,19532
0,4	3,32335E+00	1,04382E+01	2,1	0,88569	0,44310	3,8	0,90379	0,26558	5,5	0,92320	0,19379
0,45	2,47859E+00	6,46009E+00	2,15	0,88561	0,43380	3,85	0,90445	0,26266	5,55	0,92368	0,19229
0,5	2,00000E+00	4,47214E+00	2,2	0,88562	0,42495	3,9	0,90510	0,25980	5,6	0,92414	0,19081
0,55	1,70243E+00	3,34530E+00	2,25	0,88573	0,41652	3,95	0,90576	0,25701	5,65	0,92461	0,18935
0,6	1,50458E+00	2,64514E+00	2,3	0,88591	0,40848	4	0,90640	0,25429	5,7	0,92507	0,18792
0,65	1,36627E+00	2,17867E+00	2,35	0,88617	0,40080	4,05	0,90704	0,25162	5,75	0,92552	0,18651
0,7	1,26582E+00	1,85117E+00	2,4	0,88648	0,39345	4,1	0,90768	0,24902	5,8	0,92597	0,18512
0,75	1,19064	1,61077	2,45	0,88685	0,38642	4,15	0,90831	0,24647	5,85	0,92641	0,18375
0,8	1,13300	1,42816	2,5	0,88726	0,37967	4,2	0,90894	0,24398	5,9	0,92685	0,18240
0,85	1,08796	1,28542	2,55	0,88772	0,37319	4,25	0,90956	0,24154	5,95	0,92729	0,18107
0,9	1,05218	1,17111	2,6	0,88821	0,36696	4,3	0,91017	0,23915	6	0,92772	0,17977
0,95	1,02341	1,07769	2,65	0,88873	0,36097	4,35	0,91078	0,23682	6,05	0,92815	0,17848
1	1,00000	1,00000	2,7	0,88928	0,35520	4,4	0,91138	0,23453	6,1	0,92857	0,17721
1,05	0,98079	0,93440	2,75	0,88986	0,34963	4,45	0,91198	0,23229	6,15	0,92898	0,17596
1,1	0,96491	0,87828	2,8	0,89045	0,34427	4,5	0,91257	0,23009	6,2	0,92940	0,17473
1,15	0,95170	0,82971	2,85	0,89106	0,33909	4,55	0,91316	0,22793	6,25	0,92980	0,17351
1,2	0,94066	0,78724	2,9	0,89169	0,33408	4,6	0,91374	0,22582	6,3	0,93021	0,17232
1,25	0,93138	0,74977	2,95	0,89233	0,32924	4,65	0,91431	0,22375	6,35	0,93061	0,17113
1,3	0,92358	0,71644	3	0,89298	0,32455	4,7	0,91488	0,22172	6,4	0,93100	0,16997
1,35	0,91699	0,68657	3,05	0,89364	0,32001	4,75	0,91544	0,21973	6,45	0,93139	0,16882
1,4	0,91142	0,65964	3,1	0,89431	0,31561	4,8	0,91600	0,21778	6,5	0,93178	0,16769
1,45	0,90672	0,63522	3,15	0,89498	0,31135	4,85	0,91655	0,21586	6,55	0,93216	0,16657
1,5	0,90275	0,61294	3,2	0,89565	0,30721	4,9	0,91710	0,21397	6,6	0,93254	0,16547
1,55	0,89939	0,59252	3,25	0,89633	0,30319	4,95	0,91764	0,21212	6,65	0,93292	0,16439
1,6	0,89657	0,57372	3,3	0,89702	0,29929	5	0,91817	0,21031	6,7	0,93329	0,16332
1,65	0,89421	0,55635	3,35	0,89770	0,29550	5,05	0,91870	0,20853	6,75	0,93366	0,16226
1,7	0,89224	0,54024	3,4	0,89838	0,29181	5,1	0,91922	0,20677	6,8	0,93402	0,16121

Historique de four a arc

F.O.T		FICHE HISTORIQUE					F 7 5 2/9		Rev 2	
		Designation four a ARC N°1					CODIFICATION 11-01-01-01			
Date	N° OT	DESTINATION DES TRAVAUX EFFECTUE	CIRCONSTANCES EXECUTANT					Temps Passe	Prix de revient	
			P	C	M	U	E			
22/11/22	122	Reparation de la manette du couvercle serrage des 03 flexibles des 03 verins, serrage des flexible de refroidissement, serrage des colliers, reparation de la fuite du bassin de lubrifiant, changement de manchon Ø40, soudure d'un codo Ø22 et remplissage de 10litre TASFALOUT		X					9h	
27/11/2022	130	Soudure des embouts de la porte du four et serrage des boulons les travaux sont lance le 02/12/2022		X					1.5h	
30/11/2022	135	Changement des boutons au niveau du selecteur de commande et soudure d'un fils au niveau de la pupitre de commande		X					3.83	
21/12/2022	0017 22	Voir OI n°0017 22	X						30h	
11/01/2023	10	Reglage des electrodes		X					0.66h	
17/01/2023	18	Regle du distributeur d'electrode n° 1		X					0.25h	
18/01/2023	20	Debouchage du mandrin de l'electrode n°1 et serrage des colliers		X					2h	
22/01/2023	22	Reglage du verin de l'electrode et serrage des boulons		X					01h	
25/01/2023	29	Changement de flexible de refroidissement du mandrin		X					1h	
31/01/2023	30	Changement de reflexible de refroidissement au niveau de la machoire et serrage des colliers		X					1h	
02/02/2023	33	Changement de 02 tuyaux de refroidissement et serrage des colliers		X					1h	
05/02/2023	34	Serrage des colliers et serrage au niveau des machoires		X					0.5h	
09/02/2023	39	Chgt de distributeur complet, reglage de l'electrovanne		X					1.5h	

P = Preventif C = Curatif M = Modification U = Execute a l'unité E = Execute a l'exterieur

F.O.T		FICHE HISTORIQUE					F 7 5 2/9		Rev 2	
		Designation four a ARC N°1					CODIFICATION 11-01-01-01			
Date	N° OT	DESTINATION DES TRAVAUX EFFECTUE	CIRCONSTANCES EXECUTANT					Temps Passe	Prix de revient	
			P	C	M	U	E			
04/07/22	0002 22	Soufflage de la machoire et nettoyage, reglage du verin De l'electrode N°2		X					0.83h	
04/09/22	0001/ S22	Voir le PV et OI 0001/S22	X						240h	
19/09/22	01	Soudure d'echelle pour la fosse du four		X					1.5h	
03/10/2022	62	Changement de flexible de refroidissement et 10colliers de serrage		X					1.14h	
10/10/2022	69	Reglage du verin de l'electrode et serrage des boulons		X					0.5h	
12/10/2022	76	Reglage d'electroden°3 et serrage des boulons		X					0.33h	
13/10/2022	80	Demontage du couvercle, changement du couvercle renove et serrage des boulons du bras de fours		X					0.5h	
20/10/2022	94	Changement de la porte, changement de flexible de refroidissement de longueur de 02 metres et 02 colliers et serrage		X					0.5h	
20/10/2022	92	Changement du purgeur du bras n°02 d'electrode et serrage et reglage		X					1h	
20/10/2022	91	Changement du purgeur du bras01 de l'electrode et serrage et reglage		X					1h	
24/10/2022	96	Debouchage du bras 01 et 03, remplissage de 04 litres d'acide (esprit de sel) au niveau des machoires central gauche, droite et soufflement des deux bras par l'air comprimé		X					0.75h	
09/11/2022	107	Reglage de la machoire centrale et reglage du verin		X					2h	
17/11/2022	120	Reglage du verin de la machoire centrale bras n°1 chat de electrode		X					2h	

P = Preventif C = Curatif M = Modification U = Execute a l'unité E = Execute a l'exterieur

Résumé

La maintenance industrielle se concentre sur la quantité et la qualité afin d'améliorer les performances des systèmes de production et d'optimiser l'utilisation des ressources de la meilleure manière possible. L'analyse quantitative comprend la collecte et l'analyse de données liées aux défaillances, aux temps d'arrêt et aux performances globales, tandis que l'analyse qualitative consiste à évaluer la qualité de l'équipement, les performances et à analyser les défaillances et les problèmes récurrents. Des outils tels que l'analyse des modes de défaillance et l'analyse des processus sont utilisés pour identifier les risques et améliorer la qualité et les performances. Sur la base de cette analyse complète, des décisions éclairées sont prises pour améliorer les performances des systèmes de production, telles que l'identification des pièces les plus sujettes aux défaillances, l'allocation des ressources de maintenance et l'amélioration de la qualité tout en réduisant les risques potentiels.

ملخص

تركز الصيانة الصناعية على الكمية والنوعية لتعزيز أداء أنظمة الإنتاج واستغلال الموارد بأفضل طريقة ممكنة. يشمل التحليل الكمي جمع وتحليل البيانات المتعلقة بالأعطال وفترات التوقف والأداء العام، بينما يتعلق التحليل النوعي بتقييم جودة المعدات والأداء وتحليل الأعطال والمشاكل المتكررة. يتم استخدام أدوات مثل تحليل الوضع الناجم عن الفشل وتحليل العمليات لتحديد المخاطر وتحسين الجودة والأداء. بناءً على هذا التحليل الشامل، يتم اتخاذ قرارات مستنيرة لتحسين أداء أنظمة الإنتاج، مثل تحديد الأجزاء الأكثر عرضة للفشل وتخصيص موارد الصيانة وتحسين الجودة وتقليل المخاطر المحتملة.

Abstract

Industrial maintenance focuses on quantity and quality to enhance the performance of production systems and optimize resource utilization. Quantitative analysis involves collecting and analyzing data related to failures, downtime, and overall performance, while qualitative analysis evaluates equipment quality, performance, and analyzes recurring failures and problems. Tools such as failure mode analysis and process analysis are used to identify risks and improve quality and performance. Based on this comprehensive analysis, informed decisions are made to improve production system performance, such as identifying the most failure-prone parts, allocating maintenance resources, and enhancing quality while reducing potential risks.

- [1] « Maintenance Généralité », *escal medjahed expertise etalonnage*.
<http://escal.jimdo.free.com/la-maintenance-industrielle/maintenance-generality/>
(consulté le 7 mai 2023).
- [2] T. E. B. (**Project Engineer**), « La maintenance industrielle (Présentation) », Consulté le: 7 mai 2023. [En ligne]. Disponible sur:
https://www.academia.edu/23419241/La_maintenance_industrielle_Pr%C3%A9sentation_
- [3] S.BENSAADA D.FELIACHI **livre** « La maintenance industrielle »
Office des publications universitaires 1, place centrale de ben-aknoun (alger)
- [4] Driss Bouami **livre** « Le grand livre de la maintenance»
AFNOR – 11, rue Francis de Pressensé, 93571 La Plaine Saint-Denis Cedex
- [5] « Généralités sur la maintenance – Apprendre en ligne ». https://www.clicours.com/generalites-sur-la-maintenance/?fbclid=IwAR0mPgGgP3kcTnbHdhh0mmZtwuWjmtFLwDQn_fqsUZKQHeVxvuSKQAM8-Zc (consulté le 7 mai 2023).
- [6] *la maintenance industrielle 1* 13), بالدارجة المغربية, juin 2021). Consulté le: 10 mai 2023. [En ligne Vidéo]. Disponible sur :
<https://www.youtube.com/watch?v=HA9gUqjAe8>
- [7] Jean-Marie AUBERVILLE **livre** « maintenance industriel » l'ouvrage (niveau b) ellipses Edition marketing S.A 2004 32 rue Bague 75740 paris cedex
- [8] **MÉMOIRE** (L'impact de la Maintenance sur la disponibilité des Equipements Pétroliers) Université Kasdi Merbah Ouargla
<https://dspace.univ-ouargla.dz/jspui/bitstream/123456789/28603/1/M%C3%A9moire%20Master%20%20mcp%20pdf.pdf>

- [9] **cours** fac.umc.edu.dz (Université Des Frères Mentouri Constantine 1)
<https://fac.umc.edu.dz/ista/pdf/cours/PowerPoint%20niveau%20et%20operation.pptx>
- [10] L. BENALI **livre** « maintenance industrielle (5ème année d'ingénieurs en génie mécanique)
Office des publications universitaires 1, place centrale de ben-akoun (alger)
- [11] DIMITROVA ANGELINA (DRIF CDC CONFECTIION) **livre** «
GESTION DE LA QUALITÉ »
- [12] Couverture : création AFNOR – Crédit photo © 2009 Jupiter Images Corporation. Livre Management de la maintenance selon l iso 9001 ,2008
- [13] Frédéric TOMALA « **COURS DE MAINTENANCE** »
Enseignant - Chercheur en gestion des risques
Département Management des Systèmes HEI Hautes Études d'Ingénieur Bureau :
A607
- [14] Ali Sinaceur, « ETUDE QUANTITATIVE ET QUALITATIVE DE LA MAINTENANCE (Application aux turbines à gaz THM de la station SP5) ». Ingénieur en Génie Industriel / SONATRACH SONATRACH BP 96 Haoud EL Hamra, Hassi Messaoud, Ouargla, Algérie, 30500.
- [15] « Introduction à la maintenance », Institut Supérieur des Etudes Technologiques de Nabeul., 2013.
<https://www.technologuepro.com/maintenance-industrielle/chapitre-5-analyse-des-defaillances-et-aide-au-diagnostic.pdf>
- [16] Dr. Messaoud BENZOUAI., « MAINTENANCE ET SURETE DE FONCTIONNEMENT », univ batna Faculté de technologie Département Génie Industriel.

[17] BOUZIANE LAKHDAR et MEDJAHED ALI, « Etude et amélioration des paramètres de la sûreté de fonctionnement d'un système électromécanique », UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA, 2019.

[18] Jean GANDIBLEUX.(Contribution à l'évaluation de sûreté de fonctionnement des architectures de surveillance/diagnostic embarquées. Application au transport ferroviaire.) **Thèse** de doctorat de l'Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis

[19] MÉMOIRE (L'impact de la Maintenance sur la disponibilité des Equipements Pétroliers) Université Kasdi Merbah Ouargla.

[20] « STRATEGIES DE MAINTENANCE FIABILITE – MAINTENABILITE – DISPONIBILITE ». BTS maintenance des systèmes option systèmes de production. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://yard.onl/fichiers/BTS_Concept_FMD.pdf

[21] pascal denis, pierre boye, et andré BIANCIOTTO, livre « *guide de la maintenance industrielle* », Delagrave N 1378 N01 septembre 2008., vol. 480. FRANCE par loire offset titoulet saint étienne.

[22] Techni-Contact.com, « Qu'est-ce que l'analyse ABC ? - [Vidéo] - Techni-Contact ». <https://www.techni-contact.com> (consulté le 14 mai 2023). <https://www.techni-contact.com/blog/37/qu-est-ce-que-l-analyse-abc-video.html>

[23] FAIGNER H. Promotion 2020/2022 « ORGANISATION DE MAINTENANCE » BTS maintenance des systèmes option systèmes de production. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://hubertfaigner.fr/wp-content/uploads/2020/08/Organisation-de-Maintenance-Cours-Etudiant-a-Remplir.pdf

[24] « La méthode AMDEC pour anticiper les défaillances ».

<https://www.manager-go.com/management-de-la-qualite/amdec.htm> (consulté le 14 mai 2023).

<https://www.manager-go.com/management-de-la-qualite/amdec.htm>

[25] Mémoire (Contribution à L'étude de maintenance d'un four a arc électrique au niveau D'ALFET-TIARET) UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN DE TIAR

[26] « Le diagramme d'Ishikawa : définition, principe et exemple ».

<https://www.leblogdudirigeant.com/diagramme-ishikawa/> (consulté le 14 mai 2023).