

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة غرداية
Université de Ghardaïa

N° d'enregistrement
/...../...../...../...../.....



كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie
قسم الآلية و الكهروميكانيك

Département de d'automatique et d'électromécanique

Mémoire de fin d'étude, en vue de l'obtention du diplôme

Master

Domaine : Sciences et Technologies
Filière : Electromécaniques
Spécialité : maintenance industrielle

Thème

**Etude de la maintenance et la fiabilité
de la machine à souder en alfapipe**

Présenté par : Kouzi Mahdi
Daghor Abdellatif
Soutenue publiquement le : 22/09/2025

Devant le jury composé de :

ZITANI Ibrahim	MAB	Univ. Ghardaïa	Président
BEN DAOUIE Massoud	MCB	Univ. Ghardaïa	Encadreur
BELLAOUAR Abde Rahman	MAA	Univ. Ghardaïa	Examineur
AKERMI Faouzi	MAA	Univ. Ghardaïa	Examineur

Année universitaire 2024/2025

REMERCIEMENTS

*Nous tenons à exprimer notre gratitude à **ALLAH**, le Tout-Puissant, pour nous avoir accordé la force et la connaissance nécessaires à la réalisation de ce travail.*

*Nous souhaitons également manifester notre profonde reconnaissance à toute l'équipe de l'entreprise ALFAPIPE pour l'accueil chaleureux qu'ils nous ont réservé tout au long de notre stage. Un remerciement particulier s'adresse à notre promoteur, **Eng. HANNA Yassine**, pour son aide précieuse tout au long de cette expérience.*

*Nous tenons aussi à remercier notre encadrant honorable, **M. BEN DAOUIE Massoud**, pour son soutien. Enfin, nous exprimons notre gratitude à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation et à la mise au point de ce travail.*

DEDICACE.

À ceux qui m'ont offert la vie avec tout son amour et sa foi

À ceux qui ont veillé sur mon bien-être et se sont fatigués pour mon bonheur

À mes chers parents

.Ce modeste effort est le fruit de vos sacrifices et le résultat de votre soutien inépuisable

Je vous suis éternellement reconnaissant

KOUZI MEHDI.

DEDICACE

À mes parents

.Qui ont fait de leur amour une échelle grâce à laquelle j'ai gravi les marches du succès

.Et à tous ceux qui m'ont appris que la réussite ne s'obtient que par la patience et le travail

.Je vous dédie le fruit de mes efforts et de mon apprentissage

.Merci à vous

Avec toute ma gratitude

DAGHOR ABDELLATIF.

Résumé

Les entreprises industrielles cherchent constamment à améliorer leur productivité et à renforcer leur compétitivité en optimisant la fiabilité et la disponibilité de leurs équipements de production. Dans ce contexte, ce mémoire présente une étude appliquée complète pour analyser et améliorer les performances de la machine à soudage en spirale (type R-SSP 1800) de l'usine ALFAPIPE à Ghardaïa. L'étude se concentre sur la réduction des temps d'arrêt imprévus et l'augmentation du temps de fonctionnement effectif grâce à l'application d'outils d'analyse avancés tels que l'analyse Pareto (ABC), l'étude de la Fiabilité, de la Maintenabilité et de la Disponibilité (FMD) et la méthode d'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC).

Mots-clés: Amélioration, Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité, Temps d'arrêt, Analyse Pareto (ABC), Analyse FMD, AMDEC.

المخلص

تسعى الشركات الصناعية باستمرار إلى تحسين إنتاجيتها وتعزيز قدرتها التنافسية من خلال تحسين موثوقية وتوافرية معداتها الإنتاجية. في هذا السياق، تقدم هذه المذكرة دراسة تطبيقية شاملة لتحليل وتحسين أداء آلة اللحام الحلزوني (Spiral Welding Machine) نوع R-SSP 1800 في مصنع ALFAPIPE بغرداية. تركز الدراسة على تقليل أوقات التوقف غير المخطط لها وزيادة أوقات التشغيل الفعال من خلال تطبيق أدوات تحليلية متقدمة مثل تحليل باريتو (ABC) ودراسة مؤشرات الموثوقية، القابلية للصيانة، والتوافرية (FMD) ومنهجية تحليل أنماط الفشل وأثارها وحرجيتها (AMDEC).

الكلمات المفتاحية: التحسين، الموثوقية، القابلية للصيانة، التوافرية، أوقات التوقف، تحليل باريتو (ABC)، تحليل FMD، AMDEC.

Abstract

Industrial companies constantly seek to enhance their productivity and competitiveness by improving the reliability and availability of their production equipment. In this context, this thesis presents a comprehensive applied study to analyze and improve the performance of the Spiral Welding Machine (type R-SSP 1800) at the ALFAPIPE plant in Ghardaïa. The study focuses on reducing unplanned downtime and increasing effective operational time through the application of advanced analytical tools such as Pareto analysis (ABC), Reliability, Maintainability, and Availability (FMD) analysis, and Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis (FMECA).

Keywords: Improvement, Reliability, Maintainability, Availability, Downtime, Pareto Analysis (ABC), FMD Analysis, FMECA.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	I
DEDICACE.....	II
Résumé	IV
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	I
Introduction générale :	12
Chapitre I : PRÉSENTATION DE L'ENTREPRISE	13
I.1 Présentation de l'entreprise ALFAPIPE :	13
I.2 Historique :	13
I.3 Domaine d'activité de l'entreprise :	13
I.3.1 Pipeline :.....	13
I.3.2 Transport de l'eau :	14
I.4 Domaine d'application :	14
I.4.1 Étendue de la spécification :	14
I.4.2 Les normes de Confiant :.....	14
I.5 Organisation de l'usine :	16
I.6 Procède de la fabrication :	17
I.7 Caractéristiques techniques :.....	18
I.8 Équipements de l'usine et installations :	18
I.9 Les méthodes d'analyse des tubes :	19
I.9.1 Contrôle visuel :	19
I.9.2 Contrôle radioscopique :.....	20
I.9.3 Contrôle radiographique :.....	20
I.9.4 Banc d'essai hydrostatique :.....	21
I.10 Processus de revêtement :	21
I.10.1 Processus de revêtement intérieur :.....	21
I.10.2 Processus de revêtement extérieur :	22
I.11 Conclusion :	22
Chapitre II : LA MAINTENANCE INDUSTRIELLE ET SES MÉTHODES D'ANALYSE.....	23
II.1 Introduction :	24
II.2 Introduction à la maintenance industrielle :	24
II.2.1 Définition de la maintenance (norme NF EN 13306) :.....	24
II.2.2 Les objectifs de la maintenance (norme FD X 60-000) :	25
II.2.3 Stratégie de maintenance (normes NF EN 13306 et FD X 60-000) :	25

II.3 Le service maintenance :	26
II.3.1 Les fonctions du service maintenance (norme FD X 60-000) :	26
II.3.2 Domaines d'action du service maintenance :	27
II.3.3 Place du service Maintenance dans l'entreprise :	27
II.4 Types de maintenance (norme NF EN 13306) :	29
II.4.1 Maintenance corrective :	29
II.4.2 Maintenance préventive :	29
II.4.3 Maintenance préventive systématique :	29
II.4.4 Maintenance préventive conditionnelle :	29
II.4.5 Maintenance préventive prévisionnelle :	30
II.5 Objectifs de la maintenance corrective :	30
II.6 Opérations de maintenance corrective :	30
II.7 Opérations de maintenance préventive :	30
II.8 Activités de maintenance (norme NF EN 13306) :	31
II.9 Les temps de maintenance :	32
II.10 Fiabilité, maintenabilité et disponibilité (FMD) du système:	33
II.10.1 Fiabilité :	34
II.10.1.1 Définition de la fiabilité :	34
II.10.1.2 Différents types de fiabilité :	34
II.10.1.3 Les indicateurs de fiabilité :	34
II.10.1.4 Taux de défaillance instantané :	34
II.10.1.5 Temps moyen de bon fonctionnement MTBF:	35
II.10.1.6 Les lois de fiabilité :	35
II.10.1.6.1 Distributions de probabilité utilisées en fiabilité :	35
II.10.1.6.2 Distributions de fiabilité les plus couramment utilisées :	35
II.10.1.7 Diagramme de fiabilité :	36
II.10.1.8 Fiabilité d'un système constitué de plusieurs composants :	36
II.10.1.9 Estimation des paramètres de la loi de Weibull :	37
II.10.2 Maintenabilité :	39
II.10.2.1 Temps Techniques de Réparation TTR :	39
II.10.2.2 Les indicateurs de maintenabilité :	40

II.10.2.3 Expressions mathématiques :	40
II.10.3 Disponibilité :	40
II.10.3.1 Définition de la Disponibilité :	40
II.10.3.2 Différentes formes de Disponibilité :	40
II.11 Les méthodes d'optimisation de la maintenance :	41
II.11.1 Méthode ABC (Diagramme Pareto) :	41
II.11.1.1 Principe de la méthode « ABC » :	41
II.11.1.2 Méthodologie et démarche :	41
II.11.1.3 Détermination des zones ABC :	42
II.11.2 Méthode AMDEC :	43
II.11.2.1 Objectifs :	43
II.11.2.2 Méthodologie d'analyse :	44
II.11.3 AMDEC MACHINE :	45
II.11.3.1 Définition :	45
II.11.3.2 Principe de base de l'AMDEC machine :	45
II.11.3.3 Objectifs :	46
II.12 Conclusion :	46
Chapitre III : DESCRIPTION GÉNÉRALE DE LA MACHINE À SOUDER R-SSP 1800	47
III.1 Introduction :	48
III.2 Machine à souder en spirale :	48
III.2.1 Description :	48
III.2.2 Caractéristiques techniques :	50
III.2.3 Les composants de La machine à souder spirale :	51
III.2.4 Chaises-support de bobine :	53
III.2.5 Support de bobine :	53
III.2.6 Dresseuse :	54
III.2.7 Dispositif de serrage du début de bande :	54
III.2.8 Raboutage de bande :	54
III.2.9 Planeuse et guidage de bande :	55
III.2.10 Cisailage :	56
III.2.11 Formage :	57

III.2.12 Soudage des bandes :	57
III.2.13 Oxycoupage des tubes :	58
III.3 Procédures de sécurité pour la machine à souder en spirale :.....	59
III.4 Maintenance de la machine en spirale :.....	59
III.5 Conclusion :.....	60
Chapitre IV : APPLICATION DES OUTILLES D'ANALYSES SUR LES DONNÉES DE L'ENTREPRISE.....	61
IV.1 Introduction :	62
IV.2 Application des Méthode D'analyse :	64
IV.2.1 Application la Méthode ABC :.....	64
IV.2.1.1 La Courbe de Pareto :	65
IV.2.1.2 Interprétation des résultats :	65
IV.2.2 Analyse FMD :.....	66
IV.2.2.1 Analyse des éléments les moins fiables (Fiabilité) :	68
IV.2.2.2 Analyse des éléments les moins disponibles (Disponibilité):.....	69
IV.2.2.3 Analyse des éléments les moins maintenables (Maintenabilité) :.....	70
IV.2.2.4 Résumé :	70
IV.2.2.5 Actions proposées :	71
IV.2.3 Etude AMDEC:.....	71
IV.2.3.1 Classification des éléments par leur criticité :	77
IV.2.3.2 Interprétation du classement :.....	77
IV.2.3.3 Recommandations générales de maintenance :	78
IV.3 Comparatif des méthodologies d'analyse utilisées :.....	79
IV.4 Conclusion :.....	80
CONCLUSION GÉNÉRAL	81
Conclusion Générale :.....	82
RÉFÉRENCES ET BIBLIOGRAPHIE.....	83

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I :

Tableau.I.1: Caractéristiques techniques	18
Tableau.I.2 : Diamètres des tubes et des épaisseurs des parois pour la machine à souder en spirale	18

CHAPITRE II :

Tableau.II.1: Les Fonctions Du Service Maintenance (Norme FD X 60-000).....	26
Tableau.II.2: Les indicateurs de fiabilité	34
Tableau.II.3 : Les indicateurs de maintenabilité.....	40

CHAPITRE III :

Tableau.III.1 : Caractéristiques Techniques De La Machine A Souder	50
Tableau.III.2: Noms des éléments	53

CHAPITRE IV :

Tableau.IV.1: L'historique des défaillances de la machine à souder R-SSP 1800	63
Tableau.IV.2: analyse ABC	64
Tableau.IV.3: sous ensemble	66
Tableau.IV.4: N, Nt et \bar{t}	67
Tableau.IV.5: Indice de détection D	71
Tableau.IV.6: Indice de gravité G	71
Tableau.IV.7: Indice de fréquence F	72
Tableau.IV.8: Analyse AMDEC de Machine à souder spiralé	76
Tableau.IV.9: Classification des éléments par leur criticité	77
Tableau.IV.10: comparatif des méthodologies d'analyse	79

LISTE DE FIGURES

CHAPITRE I :

Figure.I.1: Photos des certifications ISO 9001, API Q1 et API Spec 5L	15
Figure.I.2: SCHEMA GENERALE D'ENTREPRISE ALFAPIPE.....	16
Figure.I.3: Schéma synoptique du procédé de fabrication.....	17
Figure.I.4: Contrôle visuel.....	20
Figure.I.5: Contrôle radioscopique.....	20
Figure.I.6: Contrôle radiographique	21
Figure.I.7: Banc d'essai hydrostatique	21

CHAPITRE II :

Figure.II.1: Le service maintenance	28
Figure.II.2: Les différents types de maintenance.....	29
Figure.II.3: les temps de maintenance	32
Figure.II.4: Objectifs de maintenance.....	33
Figure.II.5: La courbe en baignoire.	35

CHAPITRE III :

Figure.III.1: Le premier tube produit par la machine à souder spirale [6]	48
Figure.III.2: les étapes de fabrication des tubes [16]	50
Figure.III.3: Plan de la machine à souder en spirale R-SPP1800 [2]	51
Figure.III.4: Support bobine.....	54
Figure.III.5: Raboutage	55
Figure.III.6: Planeuse et guidage de bande	56
Figure.III.7: Cisailage.....	56
Figure.III.8: Formage de la bonde.....	57
Figure.III.9: Soudage extérieur et intérieur de tube.....	58
Figure.III.10: Oxycoupage par Chalumeur	59

CHAPITRE IV :

Figure.IV.1: La Courbe d'ABC	65
Figure.IV.2: Des éléments les moins Fiables.....	68
Figure.IV.3: Des éléments les moins Disponibles	69
Figure.IV.4: Des éléments les moins Maintenables.....	70

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale :

Introduction générale :

Dans de nombreuses entreprises industrielles, le bon fonctionnement opérationnel est un élément déterminant pour la compétitivité optimale d'un outil de production. C'est ainsi que la bonne fonction opérationnelle recouvre des symboles fondamentaux tels que la fiabilité, la disponibilité, la maintenabilité et la sécurité.

Pour un système industriel qui produit des biens ou des services, ALFAPIPE fait partie des entreprises industrielles qui fabriquent des tubes. Le premier pipeline pétrolier a été réalisé en 1976 par la machine à souder hélicoïdale R-SPP 1800.

Parmi les éléments contribuant au maintien et à l'amélioration de la disponibilité et de la sécurité opérationnelle des installations industrielles complexes, les méthodes d'analyse constituent des outils logiciels importants comme : l'AMDEC, l'Arbre de Défaillances, le Diagramme de Noiret, le Diagramme d'Ichikawa.

L'AMDEC fait partie intégrante des méthodes largement utilisées tant lors des études de sécurité opérationnelle durant la phase de conception que lors de l'exploitation des systèmes industriels.

Notre travail présente l'étude de la méthode AMDEC et son application sur la machine à souder hélicoïdale R-SPP 1800, et pour cela, nous avons procédé comme suit :

- **Premier chapitre :** Présentation de l'entreprise.
- **Deuxième chapitre :** Nous allons tout d'abord présenter et rappeler la situation de la maintenance en général et les méthodes d'analyse qui sont les ABC et FMD et AMDEC, qui, à elles seules, décrivent les principaux concepts éclairant notre mémoire : définition et organisation de la maintenance des équipements de production, et concepts de maintenance.
- **Troisième chapitre :** Se concentre sur la description de la machine à souder R-SPP 1800 et son fonctionnement dans son état actuel.
- **Dernier chapitre :** Expose l'application analytique de cette technique sur l'équipement de production étudié sous « étude ABC et analyse FMD et AMDEC de la machine à souder R-SPP 1800 ».

Finalement, nous terminons notre travail par une conclusion générale.

Chapitre I

PRÉSENTATION DE L'ENTREPRISE

I.1 Présentation de l'entreprise ALFAPIPE :

ALFAPIPE GHARDAIA se trouve dans la zone industrielle de Bounoura dans la commune de Ghardaïa, à seulement 10 kilomètres de la ville capitale de la wilaya. Occupant une superficie de 230 000 m², l'unité pérennise un effectif moyen de 700 salariés et a vu le jour en 1977. Cette unité produit des tubes soudés en acier, en forme de spirale, avec des diamètres allant de 16 à 64 pouces, des épaisseurs allant de 7,92 à 15 mm, et des longueurs allant de 7 à 13 mètres, en fonction d'objectifs propres à chaque utilisation :

- Pour la construction des pipelines (gazoducs et oléoducs).
- Pour les grands transferts d'eau entre barrages et agglomérations.
- Pour l'activité des travaux publics.

I.2 Historique : [1]

La proximité géographique des puits de pétrole et de gaz à Hassi R'mel et Hassi Massoud a engendré une demande augmentée de transport d'hydrocarbure qui épuise la capacité de la tuberie en spirale de El-Hadjar à Annaba. L'édification de la deuxième unité semblable à la première s'est ainsi imposée. La construction est initiée lors de l'année 1974, en avril, avec une entreprise allemande pour entrer en production en 1977, avec une capacité annuelle de 120 000 tonnes, ce qui donne l'élargissement de 375 km de tubage de 42 pouces.

Les installations de l'usine permettent de produire des tubes de diamètre variant entre 16 et 80 pouces, de l'épaisseur de 7,92 jusqu'à 25 mm, et de longueur entre 7 et 13 mètres. Les bobines produites sont expédiées sous forme de wagons par voie ferrée de Annaba à Touggourt, dans un dépôt d'une capacité de 35 000 tonnes, puis acheminées par camion SNTR sur une distance de 350 km vers Ghardaïa à titre de transport aval contre d'éventuels problèmes de congestion affectant les paramètres de production.

I.3 Domaine d'activité de l'entreprise : [2]

Le projet ALFAPIPE est destiné à transformer les bobines et les plats en tubes soudés en spirale dédiés au transport de différents liquides sous haute pression, tels que le pétrole, le gaz, l'eau, etc. dont les produits sont utilisés dans divers types de pipelines, notamment :

I.3.1 Pipeline :

- Pipelines pour le transport du pétrole (oléoducs),

- Pipelines pour le transport des gaz (gazoducs),
- Systèmes hydrauliques,

I.3.2 Transport de l'eau :

- Alimentation en eau potable,
- Infrastructures d'hydraulique,
- Assainissement (Ségou),
- Drainage

I.4 Domaine d'application : [2]

I.4.1 Étendue de la spécification :

La présente spécification indique les exigences techniques applicables à la fabrication, à l'essai destructif ou non destructif, ainsi qu'à la livraison des tubes en acier destinés à être utilisés dans la construction de diverses infrastructures de transport d'hydrocarbures, à réaliser dans des environnements corrosifs. Les sujets de fabrication des tubes doivent posséder les certifications API Q1, API et ISO, les tubes étant fabriqués selon la norme API 5L 44ème édition, ainsi que selon les spécifications techniques spécifiques du client et en conformité avec les règlements de sécurité algériens concernant le transport d'hydrocarbures par pipeline.

I.4.2 Les normes de Confiant :

La fabrication des équipements principaux a été déléguée à des sociétés étrangères, avec HOECH comme principal fournisseur. L'usine produit des tubes allant de 20 pouces (soit 508 mm) à 64 pouces (soit 1625,6 mm) de diamètre, avec des épaisseurs allant de 7 à 20 mm, et des longueurs allant de 7 à 18 m (jusqu'à présent, la demande n'a exigé qu'une longueur maximale de 13 m). La production est conforme aux normes Q1-0403 et ISO 9001.

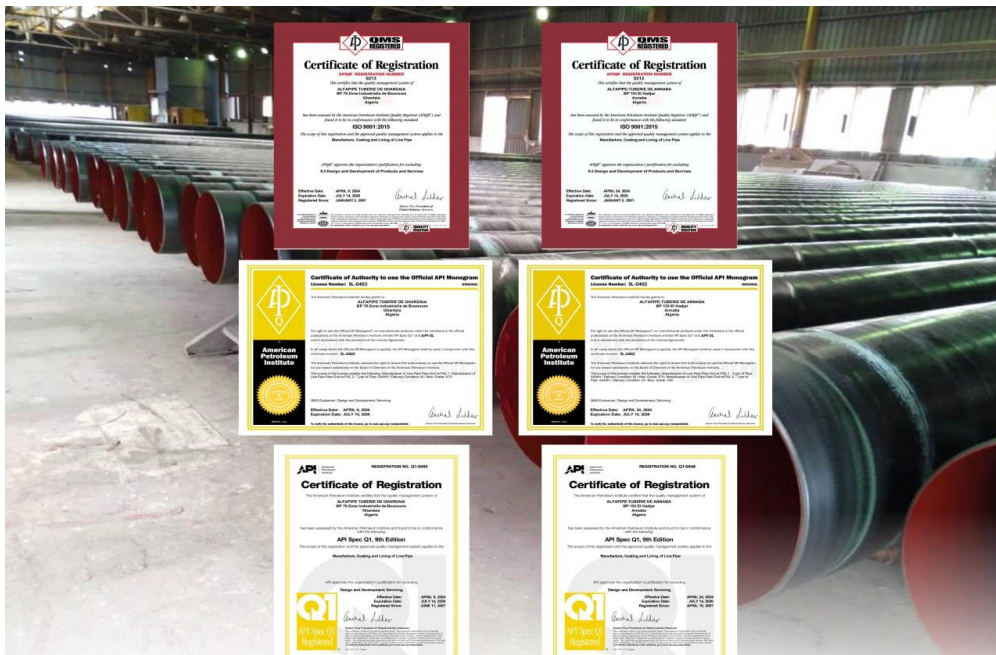


Figure.I.1: Photos des certifications ISO 9001, API Q1 et API Spec 5L

I.5 Organisation de l'usine : [2]

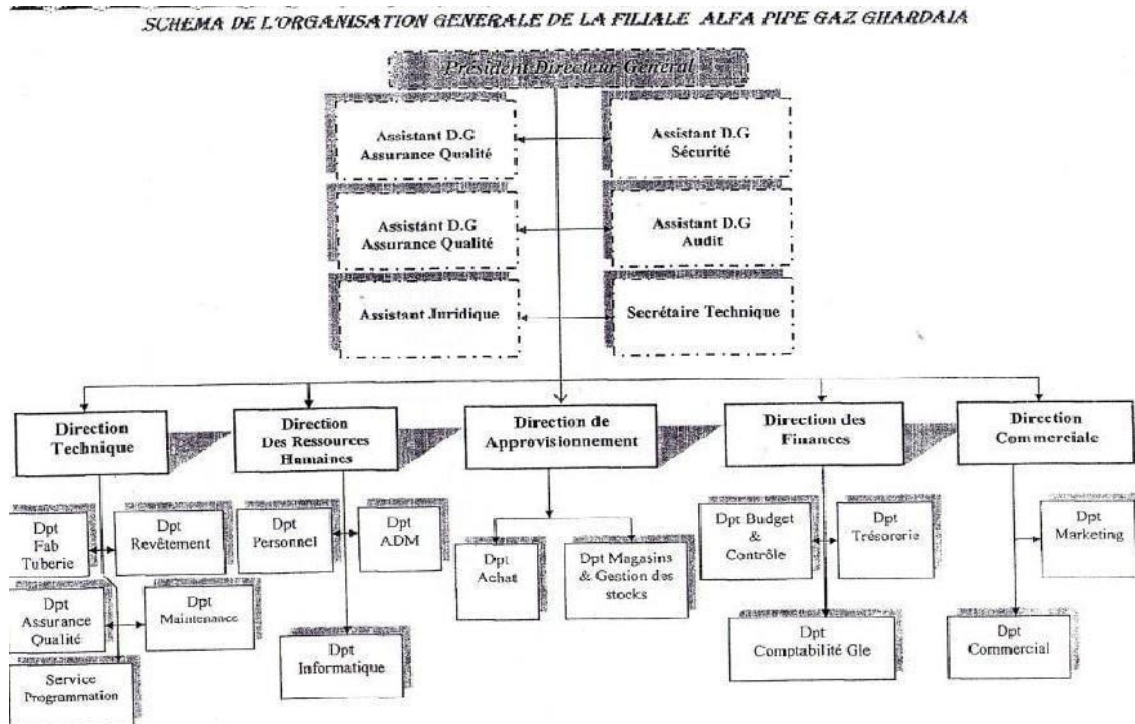


Figure.I.2: SCHEMA GENERALE D'ENTREPRISE ALFAPIPE

I.6 Procède de la fabrication : [3]

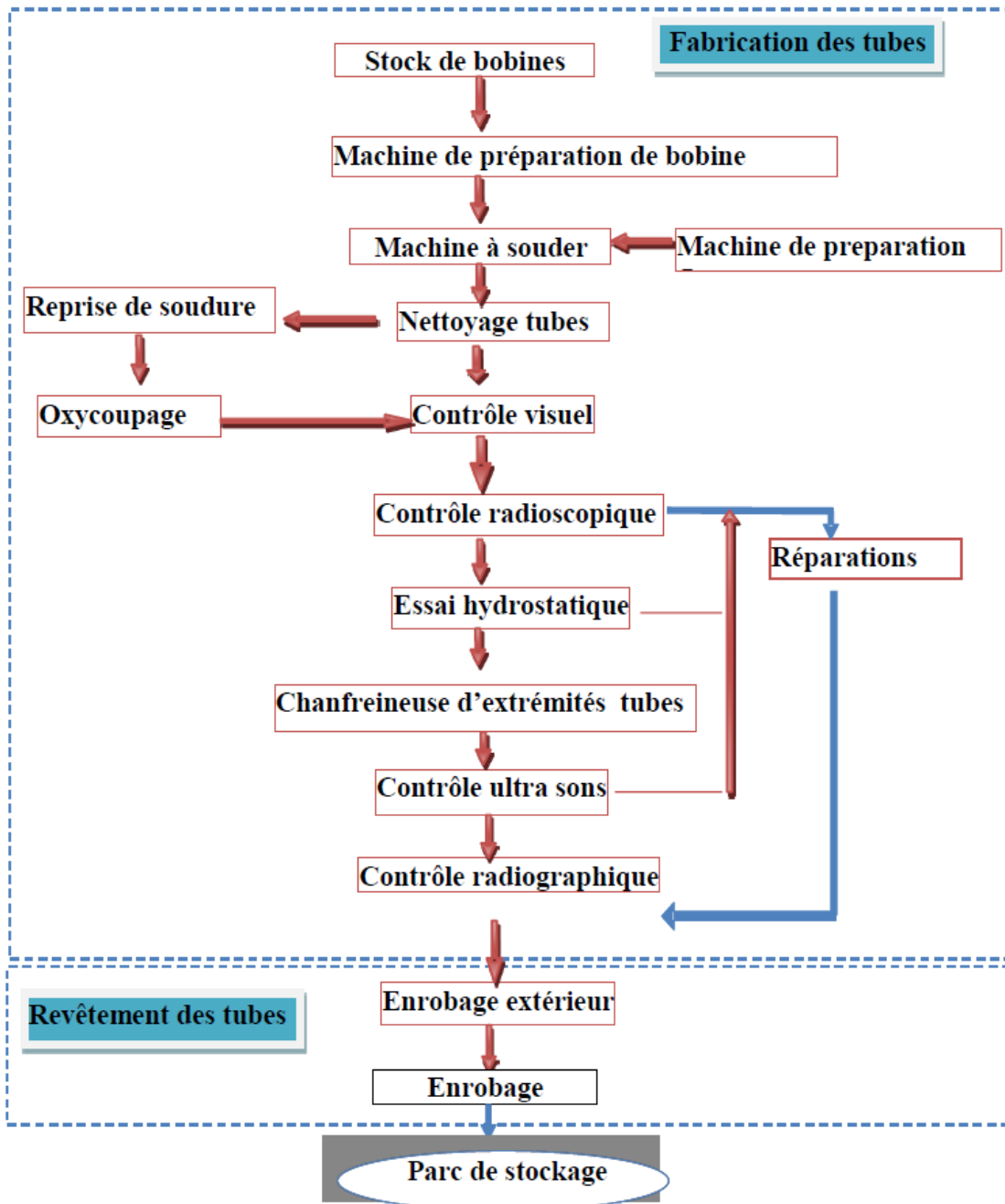


Figure.I.3: Schéma synoptique du procédé de fabrication.

I.7 Caractéristiques techniques :

Poids de bobine	max 30 ton
Diamètre intérieur de bobine	600 à 820mm
Diamètre extérieur de bobine	1200 à 2000 mm
Poids de bobine	max 30 ton

Tableau.I.1: Caractéristiques techniques

Diagramme des diamètres des tubes et des épaisseurs des parois pour la machine a soudeure en spirale type R-SSP 1800.

Diamètre des tubes en pouces.	Largeur Max. Feuillard (mm)	Qualité et épaisseur max des parois (mm)			
		X52	X56	X60	X70
16	800	9.52	8.74	7.52	7.52
24	1200	11.13	9.52	9.52	7.52
30	1500	12.70	11.13	11.13	9.52
36	1800	15.88	12.70	12.70	9.52
42	1800	15.88	13.49	12.70	12.70
48	1800	15.88	15.88	13.49	12.70
52	1800	15.88	15.88	15.88	13.49
60	1800	15.88	15.88	15.88	15.88
64	1800	15.88	15.88	15.88	15.88

Tableau.I.2: Diamètres des tubes et des épaisseurs des parois pour la machine a soudeure en spirale

I.8 Équipements de l’usine et installations : [3]

La fabrication de tubes spiralés nécessite une main-d'œuvre hautement qualifiée et des machines de grande capacité. C'est pourquoi ALFAPIPE dispose des équipements suivants :

- ❖ Machines de préparation de tubes,
- ❖ Quatre machines à souder,

- ❖ Nouvelle ligne de production,
- ❖ Deux systèmes de nettoyage de tubes,
- ❖ Deux zones de reprise de soudure,
- ❖ Équipement d'oxycoupage,
- ❖ Contrôle radiographique et par rayons X,
- ❖ Équipement de chanfreinage,
- ❖ Banc d'essai hydrostatique,
- ❖ Machine à ultrasons,
- ❖ Installation de revêtement externe,
- ❖ Installation de revêtement interne,
- ❖ Bandes transporteuses facilitant le transport des tubes entre les différentes machines,
- ❖ Ponts roulants de différents poids (15 et 34 tonnes).

Outre les équipements, plusieurs ateliers et laboratoires permettent l'expérimentation pour améliorer la qualité des produits et fournir des pièces détachées pour diverses machines :

- ❖ Atelier d'usinage
- ❖ Atelier de chaudronnerie
- ❖ Atelier électrique
- ❖ Atelier mécanique
- ❖ Atelier hydraulique
- ❖ Atelier de maintenance préventive
- ❖ Laboratoire mécanique
- ❖ Laboratoire d'électronique
- ❖ Laboratoire de chimie

I.9 Les méthodes d'analyse des tubes : [4]

I.9.1 Contrôle visuel :

Contrôle visuel de la qualité externe et interne du soudage par des techniciens professionnels. En cas de défaut évident, le tube sera réparé avant de procéder à la fabrication.



Figure.I.4: Contrôle visuel

I.9.2 Contrôle radioscopique :

Ce dispositif consiste à faire passer un faisceau de rayons à travers une barre de fer et à pénétrer dans un tube en rotation spirale. Ce dispositif permet d'afficher des images sur un écran. Grâce à cet appareil radioscopique, le superviseur peut identifier avec précision les défauts connus et non signalés sur la pièce défectueuse.

Le superviseur détermine ensuite s'il convient de soumettre le tube à une inspection finale s'il est conforme, de le rejeter pour réparation si une soudure est non conforme ou de le soumettre à la découpeuse si le défaut est irréparable.



Figure.I.5: Contrôle radioscopique

I.9.3 Contrôle radiographique :

Cet examen repose sur la variation de l'absorption des rayons X. Les différences de rayonnement de la pièce créent une image latente sur le film. La radiographie de la soudure

est réalisée dans deux chambres à rayons X. L'ensemble du cordon de soudure est surveillé par radioscopie. L'examen des défauts est néanmoins vérifié par photographie.

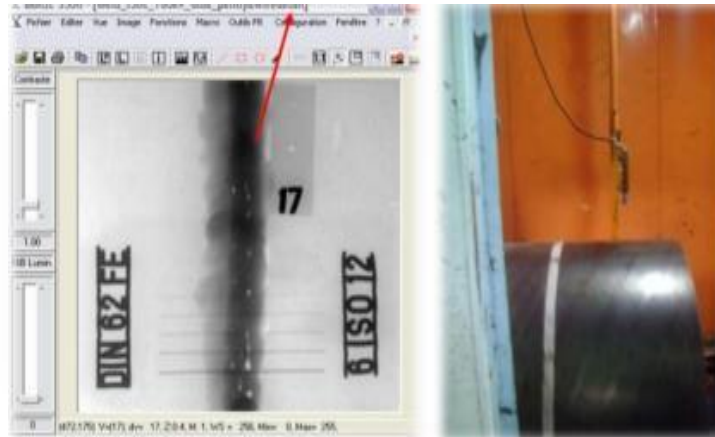


Figure.I.6: Contrôle radiographique

I.9.4 Banc d'essai hydrostatique :

Chaque tube est soumis à un essai hydraulique en étant placé entre deux têtes remplies d'eau. Une pompe haute pression injecte une pression définie (pression minimale de 170 bar et maximale de 300 bar) dans le tube, induisant une contrainte proche de sa limite d'élasticité. La pression est maintenue pendant un certain temps.



Figure.I.7: Banc d'essai hydrostatique

I.10 Processus de revêtement : [4]

I.10.1 Processus de revêtement intérieur :

. Nettoyage au Karcher.

- . Séchage par bruleur à gaz.
- . Grenailage tube.
- . Peinture intérieure.
- . Contrôle final.

I.10.2 Processus de revêtement extérieur :

- . Séchage.
- . Grenailages extérieurs.
- . Chauffage par induction.
- . Revêtement de tube en polyéthylène.
- . Tunnel de refroidissement.
- . Cut-back d'extrémité.
- . Bosseuse d'extrémité.
- . Contrôle d'électrique de défaut de revêtement.

I.11 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté un aperçu de l'entreprise nationale de fabrication de tubes ALFAPIPE Ghardaïa et de ses activités. Depuis sa création, l'entreprise produit des tubes spiralés de grande taille, de différents diamètres, pour le transport de fluides en général et résistants à des pressions élevées. ALFAPIPE produit des tubes hélicoïdaux conformes aux normes ISO de renommée mondiale. ALFAPIPE cherche à étudier l'évolution du contrôle et de la maintenance des agents économiques. Elle aborde également la question de la qualité des équipements. L'exploitation permet de comprendre les différents types d'entraînement. Cela conduit à une forte interdépendance entre la théorie et la pratique. L'entreprise existe depuis plus de 40 ans, ce qui explique sa concurrence avec les entreprises étrangères.

Chapitre II

LA MAINTENANCE INDUSTRIELLE ET SES MÉTHODES D'ANALYSE

II.1 Introduction : [5]

L'évolution de la maintenance se reflète dans le passage du terme « entretien » à « maintenance ». Ce changement de nom reflète en réalité une évolution longue et progressive.

Autrefois, la maintenance impliquait la vérification des équipements ; la maintenance opérationnelle, c'est-à-dire le nettoyage, la lubrification et le graissage ; l'attente des pannes, la réparation et le remplacement des pièces ; la maintenance corrective, c'est-à-dire la recherche d'ajustements ; et la maintenance d'amélioration. S'y ajoute désormais la maintenance préventive systématique, qui consiste à éviter les pannes par des contrôles et des remplacements de pièces réguliers.

Enfin, exaspérés par le remplacement systématique des pièces défectueuses et les arrêts intermittents de la production pour ces raisons, les responsables de ce qui devient de plus en plus la maintenance se tournent désormais vers la maintenance conditionnelle, c'est-à-dire la maintenance basée sur les indications de maintenance préventive. La devise : « Maintenir, c'est perdurer, entretenir, c'est contrôler. » L'optimisation de la maintenance est un enjeu majeur pour les industries afin de réduire les coûts, d'augmenter la disponibilité des équipements et donc la production, et d'assurer la sécurité de l'environnement, des équipements et du personnel. Compte tenu du rôle de la maintenance dans la performance des installations, diverses méthodes d'optimisation ont été développées. Elles permettent aux responsables de maintenance de créer ou de mettre à jour des plans de maintenance, notamment l'AMDEC (analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité), la méthode Ishikawa (ou diagramme de cause à effet) et le diagramme de Pareto.

II.2 Introduction à la maintenance industrielle :

II.2.1 Définition de la maintenance (norme NF EN 13306) :

La maintenance est l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise. Une fonction requise est une fonction, ou un ensemble de fonctions d'un bien considérées comme nécessaires pour fournir un service donné. [5]

II.2.2 Les objectifs de la maintenance (norme FD X 60-000) :

Selon la politique de maintenance de l'entreprise, les objectifs de la maintenance sont les suivants :

- L'augmentation de la disponibilité et de la durée de vie des biens ;
- L'assurance de la sécurité des personnes et des équipements ;
- L'amélioration de la qualité des produits ;
- La protection de l'environnement ;
- L'optimisation des coûts de maintenance, notamment à travers une meilleure planification des interventions.

La politique de maintenance conduit, en particulier, à faire des choix entre :

- Une maintenance préventive et/ou corrective, systématique ou conditionnelle ;
- Une maintenance internalisée et/ou externalisée.

II.2.3 Stratégie de maintenance (normes NF EN 13306 et FD X 60-000) : [5]

« La stratégie de maintenance est un style de management utilisé pour atteindre les objectifs de maintenance. »

Les décisions relatives à la stratégie de maintenance contribuent à l'atteinte de plusieurs objectifs de maintenance :

Développer, modifier ou mettre en place des procédures de maintenance ;

Créer et affiner les procédures de maintenance ;

Planifier les interventions des équipes de maintenance ;

Internaliser ou externaliser partiellement ou totalement les activités de maintenance ;

Identifier, gérer et optimiser les stocks de pièces de rechange et de consommables ;

Évaluer l'impact économique (temps de retour sur investissement) du remplacement ou de l'amélioration des équipements de production en termes de productivité et de maintenabilité

II.3 Le service maintenance : [5]

II.3.1 Les fonctions du service maintenance (norme FD X 60-000) :

Les fonction de la Maintenance	Etude
	Préparation
	Ordonnancement
	Réalisation
	Gestion

Tableau.II.1: Les Fonctions Du Service Maintenance (Norme FD X 60-000).

Étude : Sa mission principale est l'analyse du travail à réaliser en fonction de la politique de maintenance choisie. Elle implique la mise en œuvre d'un plan de maintenance avec des objectifs chiffrés et des indicateurs mesurables.

Préparation : La préparation des interventions de maintenance doit être considérée comme une fonction à part entière du processus maintenance. Toutes les conditions nécessaires à la bonne réalisation d'une intervention de maintenance seront ainsi prévues, définies et caractérisées. Une telle préparation devra bien sûr s'inscrire dans le respect des objectifs généraux tels qu'ils sont définis par la politique de maintenance : coût, délai, qualité, sécurité,...etc. Quel que soit le type d'intervention à réaliser, la préparation sera toujours présente. Elle sera : implicite (non formalisée) : dans le cas de tâches simples, l'intervenant assurera lui-même, par expérience et de façon souvent automatique, la préparation de ses actions ; explicite (formalisée) : réalisée par un préparateur, elle donne lieu à l'établissement d'un dossier de préparation structuré qui, faisant partie intégrante de la documentation technique, sera utilisé chaque fois que l'intervention sera réalisée. Il sera donc répertorié et conservé sous réserve de mises à jour ultérieures.

Ordonnancement : L'ordonnancement représente la fonction « chef d'orchestre ». Dans un service maintenance caractérisé par l'extrême variété des tâches en nature, en durée, en urgence et en criticité, l'absence de chef d'orchestre débouche vite sur la cacophonie, quel que soit le brio des solistes.

Réalisation : La réalisation consiste à mettre en œuvre les moyens définis dans le dossier de préparation dans les règles de l'art, pour atteindre les résultats attendus dans les délais préconisés par l'ordonnancement.

Chapitre II : La Maintenance Industrielle et ses Méthodes D'analyse

Gestion : La fonction gestion du service maintenance devra être capable d'assurer la gestion des équipements, la gestion des interventions, la gestion des stocks, la gestion des ressources humaines et la gestion du budget.

II.3.2 Domaines d'action du service maintenance : [5]

Voici la liste des différentes tâches dont un service de maintenance peut avoir la responsabilité :

- La maintenance des équipements : actions correctives et préventives, dépannages, réparations et révisions.
- L'amélioration du matériel, dans l'optique de la qualité, de la productivité ou de la sécurité.
- Les travaux neufs : participation au choix, à l'installation et au démarrage des équipements nouveaux.
- Les travaux concernant l'hygiène, la sécurité, l'environnement et la pollution, ainsi que les conditions de travail.
- L'exécution et la réparation des pièces de rechange.
- L'approvisionnement et la gestion des outillages et des rechanges.
- L'entretien général des bâtiments administratifs ou industriels, des espaces verts et des véhicules.

II.3.3 Place du service Maintenance dans l'entreprise : [6]

Les équipements et les installations vieillissent en raison de nombreux facteurs : usure, déformation en cours de fonctionnement et influence des agents corrosifs (chimiques, atmosphériques, etc.). Ce déclin peut entraîner des pannes, une diminution de la capacité de production, une atteinte à la sécurité des personnes, des rebuts ou une baisse de la qualité, une augmentation des dépenses d'exploitation (consommation énergétique accrue, etc.) et une baisse de la valeur marchande de ces actifs.

Dans tous les cas, ce déclin entraîne des dépenses supplémentaires, directes ou indirectes. Le service maintenance, comme le service sécurité, devient de plus en plus une interface avec toutes les entités de l'entreprise.

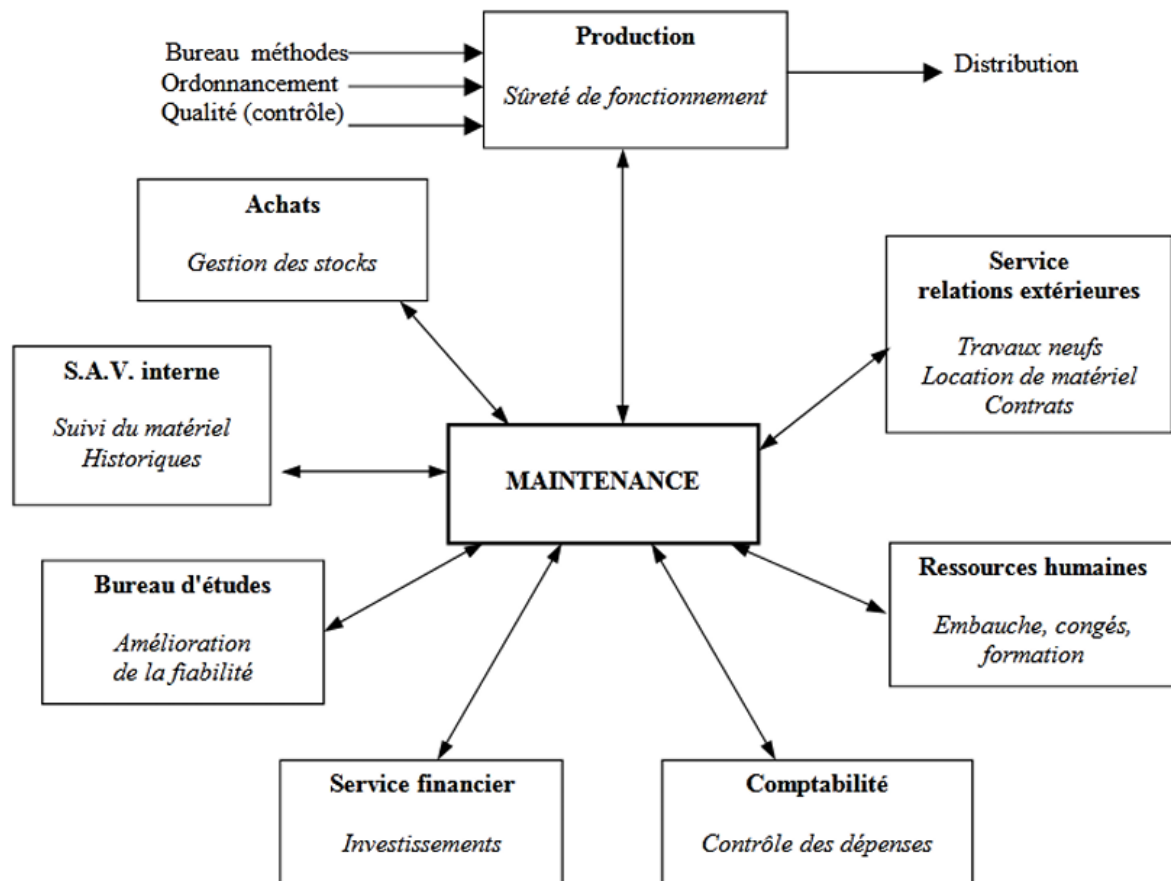


Figure.II.1: Le service maintenance

La maintenance se préoccupe de plus en plus de la qualité des produits, notamment des machines. La philosophie japonaise TPM (Total Productive Maintenance) illustre l'intérêt de déléguer la maintenance de premier et de deuxième niveau aux opérateurs de machines. De même, le TRS (Taux de Rendement Global des Équipements) est un indicateur de gestion qui prend en compte les performances de production et de maintenance.

Structuration géographique du service de maintenance : deux formes de structuration peuvent être utilisées en fonction de la nature et de l'échelle de l'entreprise :

- Service de maintenance centralisé (atelier central) ;
- Services de maintenance décentralisés proches de chaque secteur d'activité.

II.4 Types de maintenance (norme NF EN 13306) :

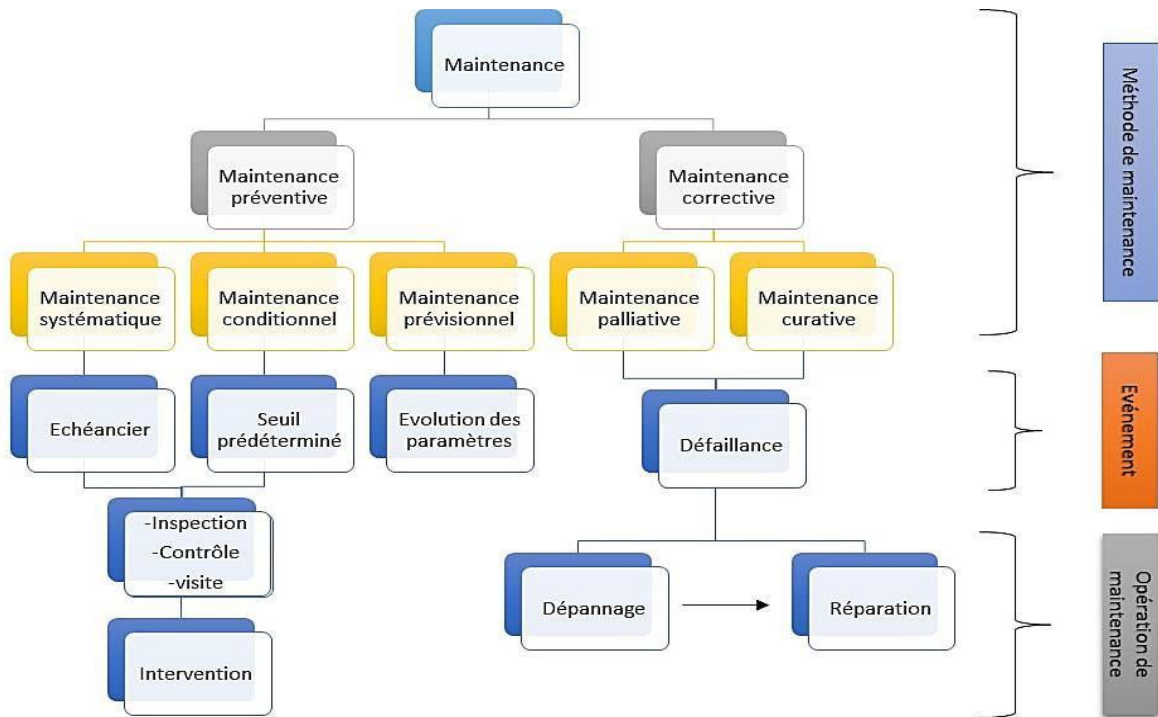


Figure.II.2: Les différents types de maintenance

II.4.1 Maintenance corrective : [7]

Il s'agit de la maintenance effectuée suite à l'identification d'une défaillance et visant à remettre un actif en état de fonctionner correctement.

II.4.2 Maintenance préventive : [8]

Il s'agit de la maintenance effectuée à intervalles fixes ou selon des critères définis, visant à réduire le risque de défaillance ou de dégradation des performances d'un actif.

II.4.3 Maintenance préventive systématique : [7]

Il s'agit de la maintenance préventive effectuée à des intervalles fixes ou selon un nombre d'unités d'utilisation déterminé, mais sans inspection préalable de l'état de l'actif.

II.4.4 Maintenance préventive conditionnelle :

Il s'agit de la maintenance préventive effectuée sur la base du suivi des performances de l'actif et/ou de ses paramètres critiques, intégrant les actions qui en découlent.

II.4.5 Maintenance préventive prévisionnelle : [9]

Il s'agit de la maintenance préventive conditionnelle effectuée en fonction des prévisions extrapolées à partir de l'analyse et de l'évaluation des paramètres significatifs de détérioration de l'actif

II.5 Objectifs de la maintenance corrective :

- Disponibilité et durée de vie de l'actif.
- Protection des biens et du personnel.
- Qualité du produit.
- Protection de l'environnement.
- Optimisation du coût de maintenance.

II.6 Opérations de maintenance corrective :

Test : c'est-à-dire la comparaison de la référence avec les mesures.

Détection : ou perception du fait qu'une défaillance se produit.

Localisation : processus conduisant à une recherche effective des éléments à partir desquels et par lesquels se manifeste la défaillance.

Diagnostic : analyse et identification des causes de la panne.

Dépannage : restauration ou réparation (avec ou sans altération).

Contrôle : vérification du bon fonctionnement après l'intervention.

Amélioration possible : c'est-à-dire éviter la récurrence de la défaillance.

Historique : mémorisation de l'intervention pour une utilisation ultérieure

II.7 Opérations de maintenance préventive : [10]

Ces opérations sont définies dans les normes NF. Elles ne nécessitent pas d'équipement spécifique et permettent de détecter des anomalies ou de mettre en œuvre des réglages simples sans arrêter (c'est-à-dire sans démonter) la production ou l'équipement.

Contrôle : la conformité prédéfinie aux données est vérifiée et une décision est prise. Ce contrôle peut conduire à une maintenance corrective ou inclure une décision de rejet, d'acceptation ou de report.

Visite : les inspections systématiques et de routine de la totalité (inspection complète) ou d'une partie (inspection partielle) des différentes parties d'un élément peuvent englober des travaux de maintenance de premier et de deuxième niveau et peuvent également conduire à une maintenance corrective.

Test : évaluation de la réponse du système par rapport à un système de référence ou à un phénomène physique garantissant un bon fonctionnement.

Échange standard : le remplacement du composant ou du sous-ensemble défectueux par un composant ou un sous-ensemble équivalent, neuf ou reconstruit, selon les spécifications du fabricant.

Révision : terme générique désignant une série d'inspections et d'activités destinées à maintenir la disponibilité et le niveau de sécurité d'un actif.

II.8 Activités de maintenance (norme NF EN 13306) :

Inspection : Il s'agit d'un essai de conformité réalisé par la mesure, l'observation, le test ou l'étalonnage des caractéristiques significatives d'un actif.

Une inspection peut généralement être effectuée avant, pendant ou après d'autres travaux de maintenance.

Surveillance : Il s'agit d'une tâche effectuée manuellement ou automatiquement pour vérifier l'état réel d'un actif.

La surveillance se distingue de l'inspection car elle permet d'évaluer l'évolution des paramètres de l'actif au fil du temps.

Réparation : Il s'agit des processus physiques exécutés pour rétablir la fonction nécessaire d'un actif défectueux.

Dépannage : Il s'agit des processus physiques exécutés pour permettre à un actif défectueux de remplir sa fonction requise pendant une durée limitée, jusqu'à la fin de la réparation.

Chapitre II : La Maintenance Industrielle et ses Méthodes D'analyse

Amélioration : Combinaison de mesures de gestion, administratives et techniques visant à améliorer la sécurité de fonctionnement d'un actif sans en modifier la fonction requise.

Modification : Combinaison de mesures de gestion, administratives et techniques visant à modifier la fonction d'un actif.

Révision : Ensemble complet d'inspections et de mesures visant à maintenir le niveau de disponibilité et de sécurité requis.

Reconstruction : Il s'agit d'une action réalisée à la suite de la déconstruction d'un actif et consistant à remplacer ou restaurer les pièces approchant la fin de leur durée de vie utile et/ou devant être remplacées systématiquement. Elle diffère de la révision en ce qu'elle peut impliquer des modifications et/ou des améliorations. Elle est généralement entreprise afin de prolonger la durée de vie utile d'un actif par rapport à celle de l'actif d'origine.

II.9 Les temps de maintenance :

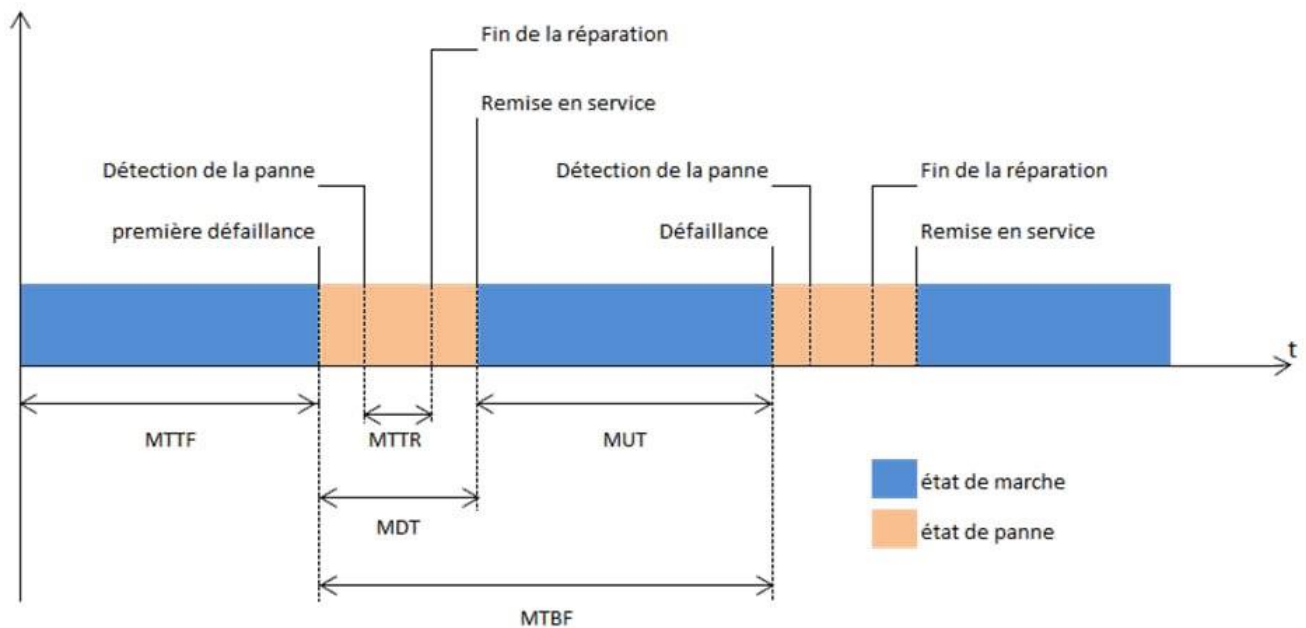


Figure.II.3: les temps de maintenance

. **MTBF** : Le MTBF est le temps moyen entre deux pannes (TBF). Le temps de disponibilité se situe entre deux pannes.

Remarque : MTBF est l'acronyme de « temps moyen entre pannes » (norme X60-500).

. **MTTR** : MTTR est l'acronyme de « temps moyen de réparation » (TTR).

Chapitre II : La Maintenance Industrielle et ses Méthodes D'analyse

Le TTR est le temps nécessaire pour réparer physiquement un système défaillant. Cela commence dès la détection de la défaillance et se poursuit jusqu'à ce que le système soit à nouveau prêt à être utilisé.

Remarque : MTTR est l'abréviation de « temps moyen de restauration » (norme X60-500).

. **MTTA** : MTTA est l'abréviation de « temps d'arrêt technique moyen » (TTA).

Les temps d'arrêt techniques font partie des temps d'arrêt qui peuvent être déclenchés par un système de production pendant son fonctionnement. Ils sont motivés par des considérations techniques et doivent être distingués des arrêts spécifiques à la production (par exemple, les temps d'attente liés aux matériaux, à l'énergie ou aux pièces, les changements de production). [12]

II.10 Fiabilité, maintenabilité et disponibilité (FMD) du système:

La fiabilité a pour objectif de : [10]

- . Mesurer une garantie dans le temps.
- . Évaluer rigoureusement un degré de confiance.
- . Déterminer une durée de vie.
- . Évaluer avec précision un temps de fonctionnement.
- . Déterminer la stratégie de l'entretien, notamment pour choix du stock.

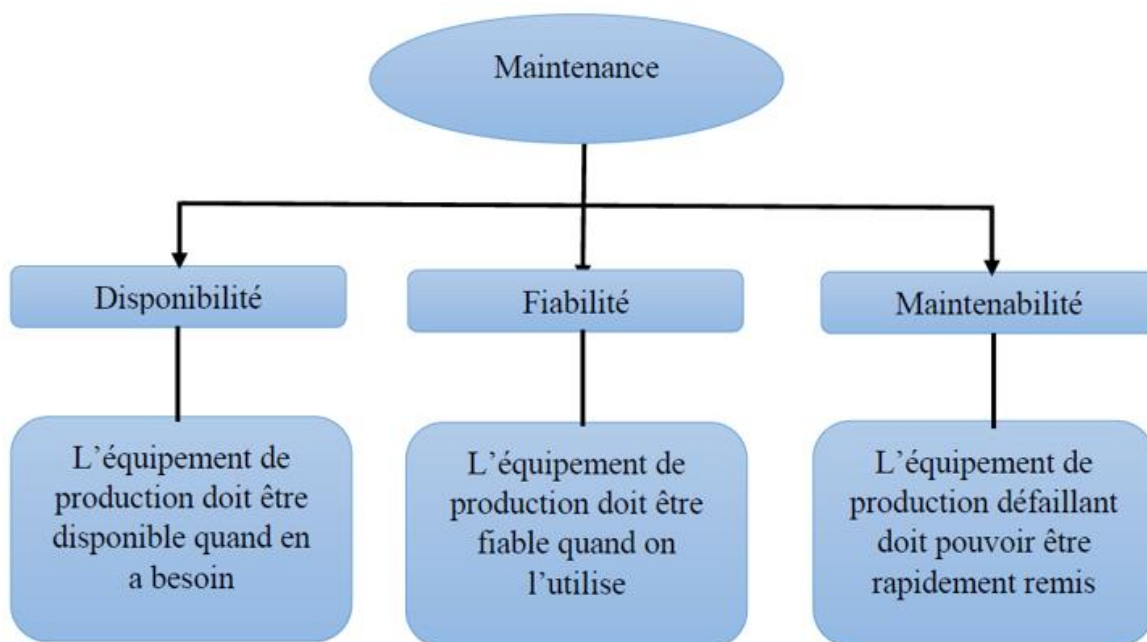


Figure.II.4: Objectifs de maintenance

II.10.1 Fiabilité : [10]

II.10.1.1 Définition de la fiabilité :

Selon la norme [AFNOR X60-500], la fiabilité est l'aptitude d'un système à accomplir une fonction donnée pendant une période déterminée et dans des conditions d'exploitation spécifiées.

Ces conditions regroupent toutes les contraintes externes, qu'elles soient d'origine humaine, climatique ou physique.

La fiabilité est une caractéristique d'un dispositif, exprimée par la probabilité qu'il accomplisse une fonction donnée dans des conditions données pendant un temps déterminé.

Elle se caractérise donc par quatre concepts

II.10.1.2 Différents types de fiabilité :

- **Fiabilité prévisionnelle** : Elle est déterminée dès la conception, à partir d'un modèle mathématique basé sur les données de fiabilité de ses composants.
- **Fiabilité estimée** : Il s'agit d'une estimation de la fiabilité une fois le système conçu, à partir d'une série de tests.
- **Fiabilité opérationnelle** : Il s'agit de la fiabilité mesurée sur un équipement en fonctionnement. Elle dépend des conditions d'exploitation et du support logique.

II.10.1.3 Les indicateurs de fiabilité :

Indice	Description
N	Nombre de pannes
MTTF	Temps moyen avant la défaillance d'un équipement non réparable.
R(t)	Fonction de fiabilité
MTBF	Temps moyen entre deux pannes successives d'un équipement.
λ	Taux de défaillance

Tableau.II.2: Les indicateurs de fiabilité

II.10.1.4 Taux de défaillance instantané :

Le taux de défaillance λ : Le taux de défaillance λ est défini mathématiquement par des calculs de probabilité. Il peut également être exprimé en termes physiques. Il caractérise le taux de variation de la fiabilité dans le temps. Un bon temps de fonctionnement est égal au temps d'utilisation total moins le temps d'indisponibilité.

$$\lambda = \frac{\text{nombre de défaillances pendant les Service}}{\text{durée totale de bon fonctionnement}}$$

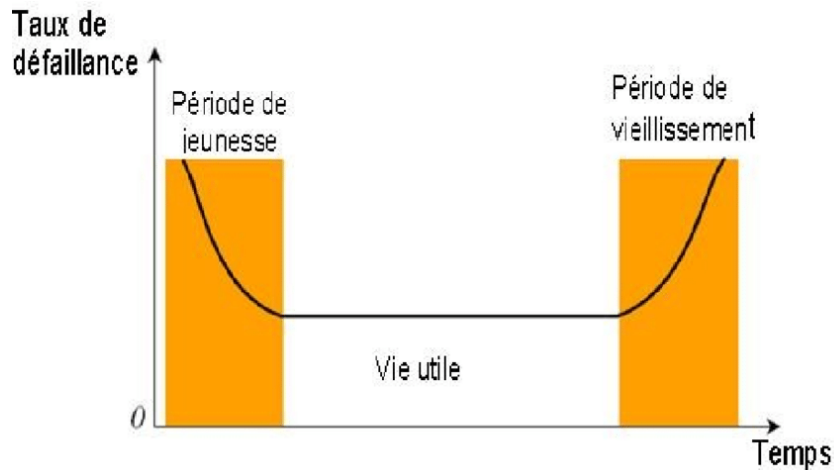


Figure.II.5: La courbe en baignoire.

II.10.1.5 Temps moyen de bon fonctionnement MTBF:

Le MTBF (temps moyen entre pannes) est généralement défini comme le temps moyen entre deux pannes, mais il s'agit en réalité de la moyenne des temps entre pannes. Plus précisément, il correspond à la durée de vie attendue t .

$$MTBF = \int_0^{\infty} R(t)$$

Physiquement, le MTBF peut être exprimé par le rapport des temps

$$MTBF = \frac{\text{somme des temps de fonctionnement entre les (n) défaillances}}{\text{nombre totale des pannes}}$$

$$\text{Si } \lambda \text{ est constant : } MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

Par définition, le MTBF est la durée de vie moyenne du système.

II.10.1.6 Les lois de fiabilité :

II.10.1.6.1 Distributions de probabilité utilisées en fiabilité :

- **Discrète** : distribution binomiale et distribution de Poisson.
- **Continue** : distribution de Weibull, distribution exponentielle, distribution normale et distribution log-normale.

II.10.1.6.2 Distributions de fiabilité les plus couramment utilisées :

Distribution exponentielle :

Cette distribution ayant diverses applications, puisqu'elle n'est qu'une instance spécifique de la distribution de Weibull, nous en fournirons ici une dérivation générale avec quelques applications. Fonction de fiabilité :

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

Fonction de défaillance :

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

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

II.10.1.7 Diagramme de fiabilité : [12]

Le diagramme de fiabilité est un modèle graphique utilisé en sûreté de fonctionnement pour représenter l'état de fonctionnement d'un système en fonction des états de ses composants.

Il repose sur les mêmes principes booléens et probabilistes que l'arbre de défaillances.

Cet article présente sa mise en œuvre, les difficultés rencontrées ainsi que les solutions permettant de l'utiliser aussi bien de manière qualitative (coupes minimales) que quantitative (disponibilité, fréquence de défaillance ou fiabilité).

Il propose un état de l'art fondé sur l'utilisation des diagrammes de décision binaires, illustre le propos à l'aide d'exemples et aborde des extensions traitant des aspects non cohérents ou dynamiques.

II.10.1.8 Fiabilité d'un système constitué de plusieurs composants :

A- En série :

La fiabilité R_s d'un ensemble de n constituants connectés en série est égale au produit des fiabilités respectives R_A, R_B, R_C, R_n de chaque composant

$$R_s = R_A * R_B * R_C \dots * R_n$$



Figure.II.6: Composants en série

Si les taux de défaillances sont constants au cours du temps, la fiabilité sera calculée suivant la formule :

$$R(t) = (e^{-\lambda_A t}) \times (e^{-\lambda_B t}) \times (e^{-\lambda_C t}) \times \dots \times (e^{-\lambda_n t})$$

Avec : $MTBF = \frac{1}{\lambda_A + \lambda_B + \lambda_C + \dots + \lambda_n}$

B- En parallèle :

La fiabilité d'un système peut être améliorée en plaçant les composants en parallèle.

Chapitre II : La Maintenance Industrielle et ses Méthodes D'analyse

Dans une configuration parallèle, le système ne tombe en panne que si tous les composants tombent en panne simultanément.

Si F_i représente la probabilité de défaillance d'un composant, alors : $F_i = 1 - R_i$

F_i : représente la probabilité de défaillance du composant i

Si les n composants de la figure sont montés en parallèle, la fiabilité du système est donnée par :

$$(S) = 1 - (1 - R_A) \cdots (1 - R_n).$$

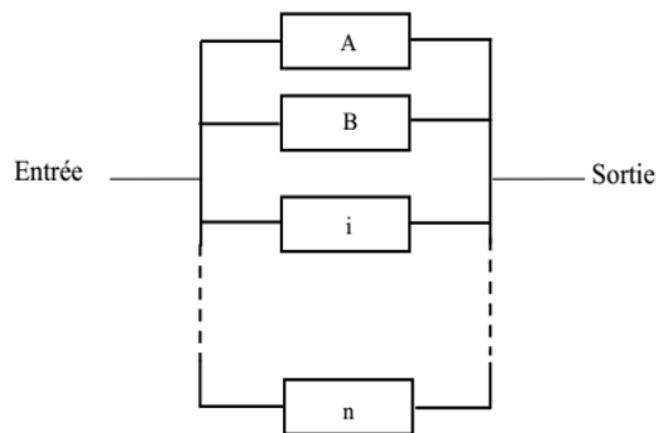


Figure.II.7: composants en parallèle

II.10.1.9 Estimation des paramètres de la loi de Weibull : [11]

Il s'agit d'une distribution de fiabilité à 3 paramètres qui peut être utilisée pour prendre en compte des taux de défaillance non constants pendant les périodes initiales et de vieillissement. Elle prend en charge :

L'estimation du MTBF.

Les calculs de $f(t)$ et de $R(t)$ et leurs représentations graphiques.

Le paramètre de forme β permet de cibler un diagnostic, car il peut être caractéristique de certains modes de défaillance.

- **Les trois paramètres de la distribution sont :**

γ , η et β , qui façonnent la distribution de Weibull.

Nous utilisons trois paramètres :

- β : paramètre de forme ($\beta > 0$)

- η : paramètre d'échelle ($\eta > 0$)

- γ : paramètre de position ($-\infty > \gamma > +\infty$).

Différentes formules sont utilisées pour la distribution de Weibull :

Chapitre II : La Maintenance Industrielle et ses Méthodes D'analyse

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

$f(t)$: probabilité de dommage à l'instant t .

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

$F(t)$: probabilité cumulée de dommage au fil du temps.

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

$R(t)$: probabilité cumulée de surveillance au fil du temps.

. Taux de défaillance : $\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}$

$\lambda(t)$: probabilité de dommage au temps $t+\Delta t$

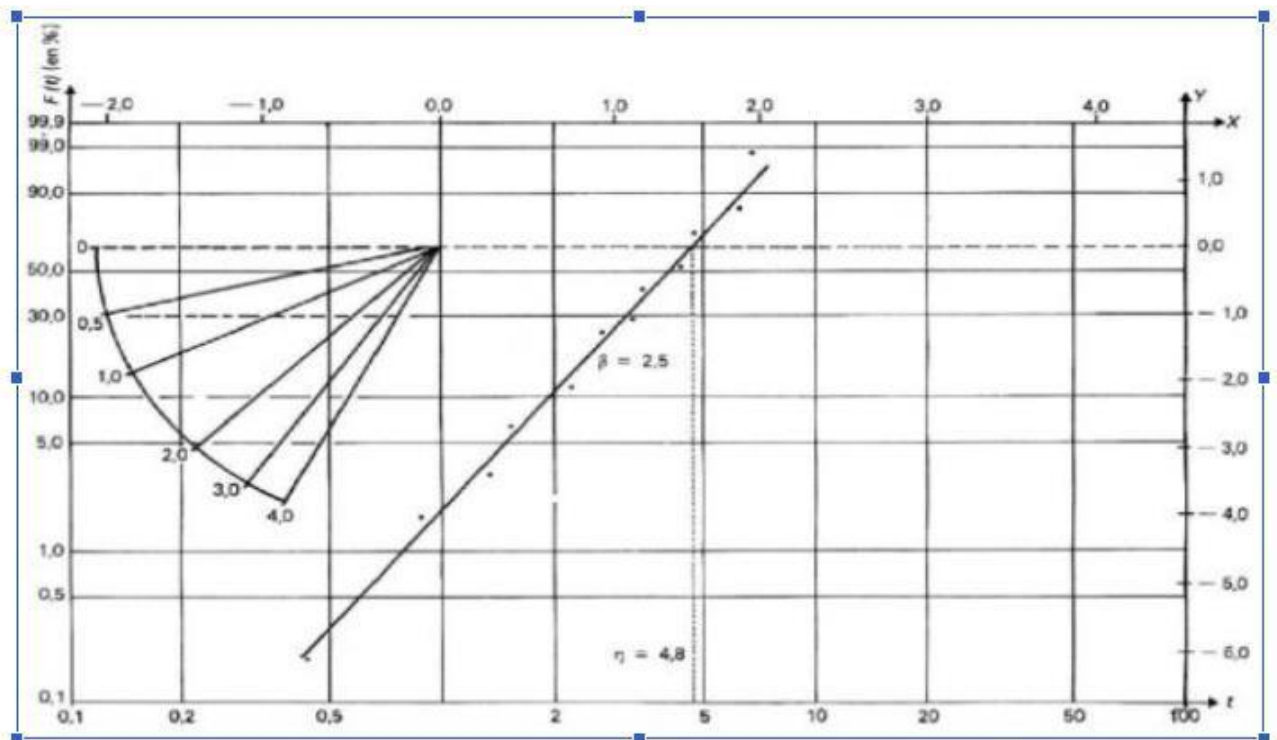


Figure.II.8: la distribution de Weibull (graphique d'Allan Plait).

- L'axe t en (heures)
- $F(t)$ (en %).

1) Calcul des Temps de bon fonctionnement.

2) Classement des temps de bon fonctionnement en ordre croissant.

3) N = nombre de Temps de bon fonctionnement.

4) Recherche des données $F(i)$, $F(i)$ représente la probabilité de panne au temps correspondant au Temps de bon fonctionnement de l'ère défaillant.

On a trois cas différents :

1. Si $N > 50$:
$$F(i) = \frac{ni}{N} \approx F(t)$$
2. Si $20 < N < 50$:
$$F(i) = \frac{ni}{N+1} \approx F(t)$$
3. Si $N < 20$:
$$F(i) = \frac{ni-0,3}{N+0,4} \approx F(t)$$

II.10.2 Maintenabilité : [8].

Selon la norme AFNOR X 60-010 : « Dans les conditions d'utilisation, la maintenabilité est l'aptitude d'un dispositif à être maintenu ou remis dans un état lui permettant d'assurer sa fonction prévue, lorsque la maintenance est effectuée dans des conditions spécifiées, avec des procédures et des moyens spécifiés. »

Par analogie avec la fiabilité, la maintenabilité peut être définie de manière probabiliste : « La maintenabilité est la probabilité de rétablir un système dans des conditions de fonctionnement spécifiées, dans des délais souhaités, lorsque la maintenance est effectuée dans des conditions et avec des moyens prescrits. [2] »

II.10.2.1 Temps Techniques de Réparation TTR :

Délai de réparation technique (TTR) :

Le TTR d'une intervention correspond généralement à la somme des temps suivants :

- Temps de vérification de la panne (il peut y avoir de fausses alarmes) ;
- Temps de diagnostic ;
- Temps d'accès au composant défectueux (démontage ou dépose) ;
- Temps de remplacement ou de réparation ;
- Temps de remontage ;
- Temps de test et d'inspection.

Les temps d'arrêt suivants doivent être exclus du TTR :

- Temps d'attente dû à l'indisponibilité des techniciens, des outils ou des pièces de rechange ;
- Arrêt de travail, etc.

Si le TTR est supérieur ou égal au TTR, l'organisation et la gestion de la maintenance doivent être réexaminées.

II.10.2.2 Les indicateurs de maintenabilité :

Indice	Description
N	Nombre de pannes
MTTR	Le principal indicateur de maintenabilité
M(t)	La fonction de maintenabilité stricte

Tableau.II.3 : Les indicateurs de maintenabilité

II.10.2.3 Expressions mathématiques :

La maintenabilité M (t) s'exprime en fonction de la densité de probabilité, notée g(t), par la relation suivante : $M(t) = \int_0^t g(t) dt$

II.10.3 Disponibilité : [13]

II.10.3.1 Définition de la Disponibilité :

Au fur et à mesure que nous étudions la fiabilité, nous nous intéressons non seulement à la probabilité de défaillance, mais aussi à leur nombre et, plus particulièrement, au temps nécessaire pour les réparer.

Dans ce contexte, deux nouveaux indicateurs de fiabilité sont à considérer.

La disponibilité est un indicateur de la probabilité qu'un système soit opérationnel à tout moment. Cette définition est quasiment identique à celle de la fiabilité, à la différence près que le système doit fonctionner à l'instant t et non sur l'intervalle [0, t].

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

II.10.3.2 Différentes formes de Disponibilité :

- Disponibilité moyenne :

La disponibilité moyenne sur un intervalle de temps donné peut être calculée à l'aide de la relation suivante :

$$D = D(t) = \frac{\text{temps de disponibilité}}{\text{temps de disponibilité} + \text{temps d'indisponibilité}}$$

$$\text{Indisponibilité} = 1 - \text{disponibilité} = 1 - D$$

$$D(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \left(1 + \frac{\lambda}{\mu} e^{-(\lambda + \mu)t} \right)$$

- Disponibilité intrinsèque :

Il s'agit du point de vue du concepteur. Ce dernier a conçu et développé le produit en le dotant d'un certain nombre de propriétés intrinsèques, c'est-à-dire des propriétés qui tiennent compte des conditions d'installation, d'utilisation, de maintenance et des conditions ambiantes supposées optimales.

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

- Disponibilité opérationnelle :

Elle prend en compte les conditions réelles d'exploitation et de maintenance. Il s'agit de la disponibilité du point de vue de l'utilisateur.

Le calcul utilise les mêmes paramètres MTBF, MTTR et MTL, mais ces trois paramètres ne correspondent plus aux conditions idéales de fonctionnement, mais aux conditions réelles (expérience d'exploitation).

$$D_o = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR + MTL}$$

II.11 Les méthodes d'optimisation de la maintenance :

II.11.1 Méthode ABC (Diagramme Pareto) : [14].

II.11.1.1 Principe de la méthode « ABC » :

Cette méthode consiste à classer les défaillances selon leur niveau de priorité en trois catégories distinctes, chacune faisant l'objet d'un traitement adapté. Elle permet ainsi au responsable de maintenance d'identifier les actions prioritaires à mener

II.11.1.2 Méthodologie et démarche :

- Recensement des pannes depuis la date de création du dossier historique.
- Classement des fréquences de pannes par ordre décroissant.
- Calcul des cumuls en partant de la valeur la plus élevée.
- Conversion de chaque valeur cumulée en pourcentage.

- Détermination du rang relatif (en %) de chaque type de panne.
- Tracé de la courbe représentative des points (rang relatif, pourcentage cumulé) sur un graphique bidimensionnel avec des axes en pourcentage utilisant la même échelle.

II.11.1.3 Détermination des zones ABC :

Sur le schéma, on observe trois zones.

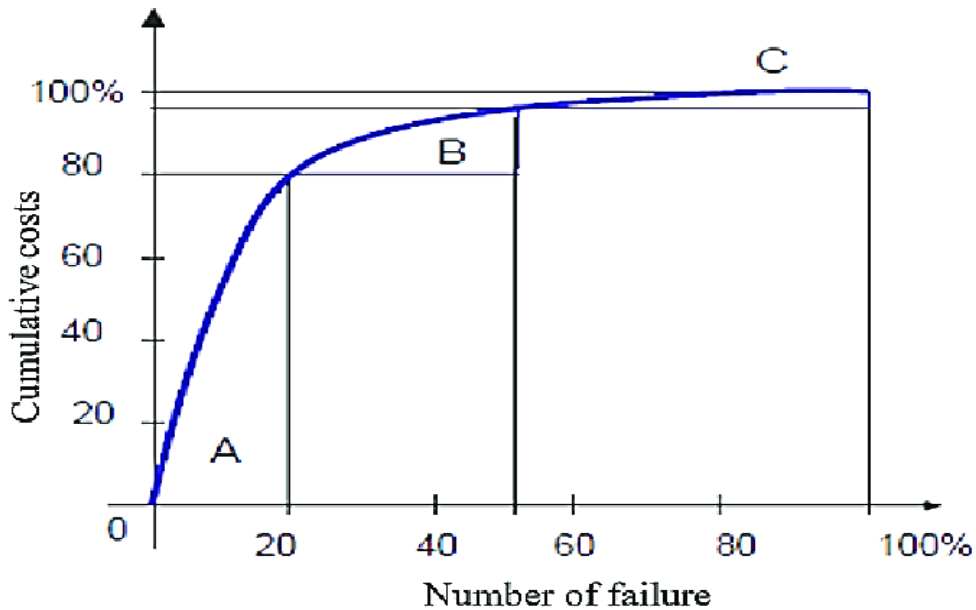


Figure.II.9: Diagramme Pareto

Zone A : 20 % des pannes occasionnent 80 % des coûts.

Zone B : les 30 % de pannes supplémentaires ne coûtent que 15 % supplémentaires.

Zone C : les 50 % de pannes restantes ne concernent que 5 % du coût global.

II.10.1.4. Objectifs de diagramme de Pareto :

1. Enregistrement des pannes : Recenser toutes les pannes enregistrées depuis la date de création du dossier historique.

2. Classement des pannes : Classer les types de pannes par ordre décroissant de leur fréquence (de la plus élevée à la plus faible).

3. Calcul de la fréquence cumulative : Calculer le nombre cumulé de pannes en commençant par la valeur la plus élevée.

4. Conversion en pourcentages : Convertir chaque valeur cumulée en pourcentage du total général.

5. Détermination du rang relatif : Calculer le rang relatif (le pourcentage cumulé) pour chaque type de panne.

6. Représentation graphique des données : Tracer la courbe représentant la relation entre le rang relatif (axe des X) et le pourcentage cumulé de fréquence (axe des Y), en utilisant la même échelle en pourcentage pour les deux axes.

II.11.2 Méthode AMDEC : [15]

Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC) : aide à anticiper et à gérer les risques au sein d'une entreprise. C'est l'un des outils les plus connus pour l'amélioration continue de la qualité. Initialement utilisée principalement dans les entreprises industrielles, notamment dans le secteur automobile, elle s'est aujourd'hui étendue à toutes les entreprises appliquant les normes ISO 9000 et la satisfaction client.

Elles sont issues de normes, de bases de données ou d'une méthode d'analyse déductive des défaillances. La liste des modes de défaillance des composants est longue et comprend les types de défaillance suivants :

- Court-circuit, circuit ouvert, dérive d'un paramètre électrique, pour les composants électroniques simples ;
- Rupture, déformation, grippage, usure, pollution, pour les composants mécaniques ;
- Composants électroniques intégrés en modes aléatoires ou déterministes.

II.11.2.1 Objectifs :

- L'objectif d'une AMDEC est d'identifier les effets des modes de défaillance sur les équipements, les systèmes ou les installations.
- L'analyse produit généralement des recommandations permettant d'améliorer la fiabilité des équipements.
- L'AMDEC constitue une contribution importante à un programme d'assurance de la fiabilité.

Chapitre II : La Maintenance Industrielle et ses Méthodes D'analyse

- La méthode peut être appliquée à un large éventail de problèmes liés aux systèmes techniques.

- Elle peut être plus ou moins complète, ou modifiée en fonction de l'application prévue.

Cette analyse, rarement utilisée lors des phases d'étude, de planification et de définition, est largement utilisée en phase de mise en œuvre et de conception. Il convient toutefois de rappeler que l'AMDEC n'est qu'une étape du programme de fiabilité et de maintenabilité, lequel nécessite de nombreuses tâches dans divers domaines.

II.11.2.2 Méthodologie d'analyse :

La méthodologie doit être développée pour le système dans son ensemble.

Elle est décrite ci-dessous :

- Chaque composant est considéré individuellement ;
- Différents modes de défaillance (fracture, corrosion) sont considérés individuellement ;
- Les effets sur le système sont simulés ;
- Des suggestions pour améliorer la maintenabilité sont fournies.
- Le processus est à la fois qualitatif et quantitatif.

Les aspects qualitatifs sont :

- Identification des défaillances potentielles ;
- Identification des causes ;
- Identification des impacts sur les clients ou les utilisateurs et l'environnement.

Les aspects quantitatifs sont :

- Estimation du risque (ou de l'impact sur le client) dû à l'absence de priorisation des défaillances potentielles ;
- Priorisation des actions correctives.

L'application de la méthode comprend sept étapes principales, structurées comme décrit dans le diagramme de la figure II.10.

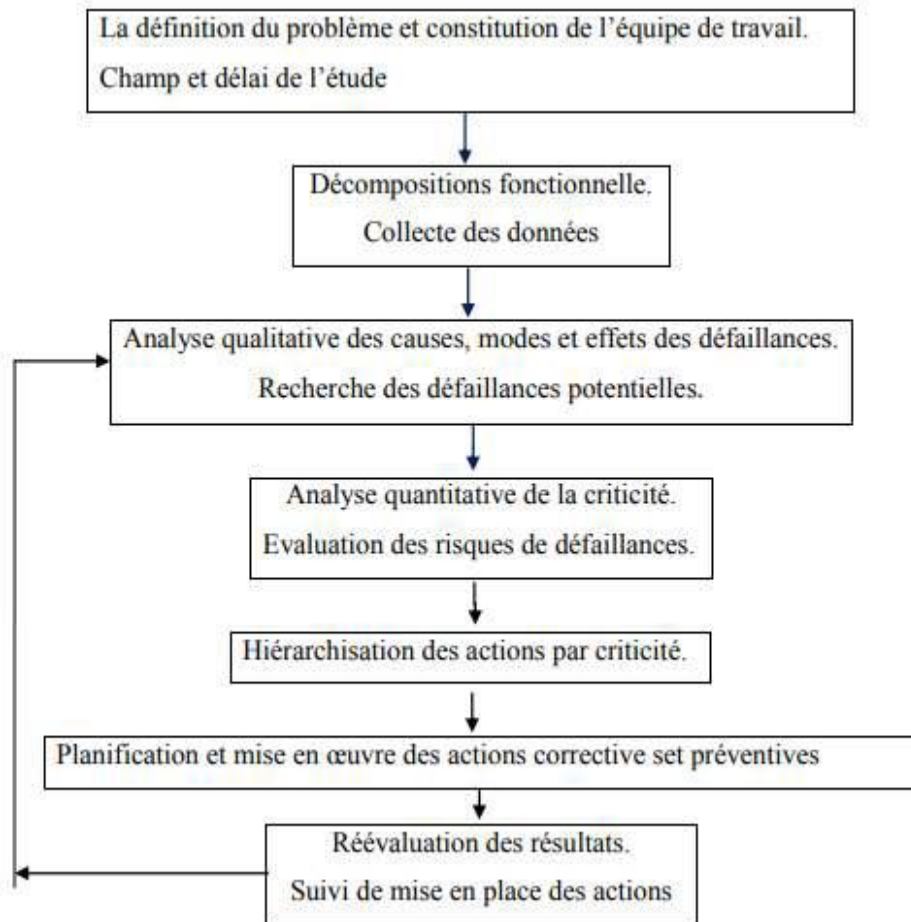


Figure.II.10: Organisation de la méthode AMDEC

II.11.3 AMDEC MACHINE :

II.11.3.1 Définition :

L'AMDEC machine est une méthode d'étude des défaillances potentielles des composants physiques (mécano-hydrauliques, pneumatiques, électriques et électroniques) d'un équipement industriel. Son objectif est d'évaluer comment ces défaillances peuvent altérer les capacités fonctionnelles de la machine, sans remettre en cause la pertinence de ces fonctions elles-mêmes.

II.11.3.2 Principe de base de l'AMDEC machine :

Il s'agit d'une approche préventive structurée, reposant sur un examen critique visant à :

1. Recenser de manière méthodique et systématique tous les risques potentiels de défaillance des équipements ;
2. Identifier les causes racines et évaluer les impacts de ces défaillances ;

3. Hiérarchiser les points sensibles et déterminer les éléments les plus critiques ;

4. Définir et recommander des actions correctives ciblées pouvant intervenir à différents niveaux : conception, fabrication, utilisation ou maintenance des machines analysées.

II.11.3.3 Objectifs :

L'objectif ultime de l'AMDEC machine est d'atteindre, à un coût optimisé, la performance opérationnelle maximale des machines de production et des équipements industriels. Cette étude vise à :

1. Réduire le nombre de défaillances :

- Éviter les défaillances.
- Renforcer la fiabilité de la conception.
- Améliorer les processus de fabrication, d'assemblage et d'installation.
- Optimiser les procédures d'utilisation et de conduite.
- Renforcer la surveillance, le contrôle et les tests.
- Perfectionner la maintenance préventive.
- Favoriser la détection anticipée des anomalies et dégradations.

2. Réduire le temps d'indisponibilité après défaillance :

- Intégrer les impératifs de maintenance dès la phase de conception.
- Optimiser les capacités de test.
- Assister le processus diagnostique.
- Améliorer les interventions de maintenance corrective.

3. Améliorer la sécurité.

II.12 Conclusion :

L'analyse de fiabilité est une passerelle vers le suivi de l'évolution des machines et de leur fonctionnement selon une analyse probabiliste à distributions variables. L'analyse AMDEC nous permet de prévoir et de réguler les risques dans les entreprises. De plus, Pareto nous a laissé une solution pour résoudre les problèmes à la source grâce à la classification des défauts, fournissant chaque problème et son origine, une autre méthode d'analyse puissante. Cette étude permet de mieux comprendre les obstacles et de poursuivre le développement de la machine.

Chapitre III

DESCRIPTION GÉNÉRALE DE LA MACHINE À SOUDER R-SSP 1800

III.1 Introduction :

L'entreprise algérienne spécialisée dans la fabrication de tubes en spirale s'appuie sur la machine à souder du modèle R-SSP1800. Cette dernière a officiellement démarré sa production le 27 février 1976.

Cette machine est conçue pour former des tubes en spirale à partir de grandes bobines de bandes d'acier (aussi appelées rubans) et pour procéder à leur soudage intégral, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur, à l'aide d'un équipement de soudage sous laitier (SAW).



Figure.III.1: Le premier tube produit par la machine à souder spirale [6]

III.2 Machine à souder en spirale :

III.2.1 Description :

La machine à souder en spirale est destinée à la fabrication de tubes à partir de bandes métalliques de différentes largeurs et épaisseurs, dévidées de bobines. Ces bandes sont formées en hélice puis soudées intérieurement et extérieurement selon le procédé de soudage à l'arc sous flux.

Les éléments essentiels de la machine sont constitués de :

- Un module de préparation de la bande.
- Un module de formage du tube.

Chapitre III : Description Générale De La machine à Souder R-SSP 1800

- Un module de sortie du tube.

Le module de préparation de la bande s'étend du dispositif de déroulage des bobines jusqu'aux rouleaux de l'entraîneur. Dans cette zone, la bande est tirée à travers la machine et subit différentes opérations d'usinage. Elle est dressée, guidée, puis rognée sur ses deux côtés à l'aide d'une cisaille circulaire. Cette opération d'ébavurage permet d'éliminer les bords de laminage et d'obtenir une largeur de bande constante. Ensuite, les bords sont préparés pour la soudure à l'aide d'outils raboteurs et de brosses de nettoyage.

La jonction des bobines pour assurer la continuité du défilement et obtenir une bande sans fin fait également partie de la préparation. Cette opération se déroule comme suit :

- Découpe des extrémités de la bande.
- Alignement précis des bords.
- Soudage des joints.

Pendant cette phase de l'usinage, la soudure du tube est brièvement interrompue. Tous les éléments du module de préparation des bandes sont boulonnés sur le châssis de base de la machine. Ce châssis repose sur des galets et peut être pivoté pour être positionné selon l'angle d'entrée approprié, qui est fonction de la largeur de bande et du diamètre du tube à fabriquer.

Dans la cage de formage, la bande est progressivement cintrée en tube selon le principe d'une cintrreuse à rouleaux multiples. Les bords de la bande, qui convergent en sortie de cage, sont soudés d'abord intérieurement, puis extérieurement. Sur un châssis orientable permettant le réglage du point de soudure sont montés : la lunette de commande (dispositif de guidage du tube), le support avec la traverse pour l'installation de soudage extérieur, et le dispositif d'évacuation du tube.

Le tube formé est coupé à la longueur requise par un chariot mobile d'oxycoupage. Durant le processus continu de production, le tube sectionné est ensuite déposé sur un convoyeur à rouleaux (ou grille) puis évacué latéralement hors de la machine.

Principe de fabrication des tubes soudés en spirale

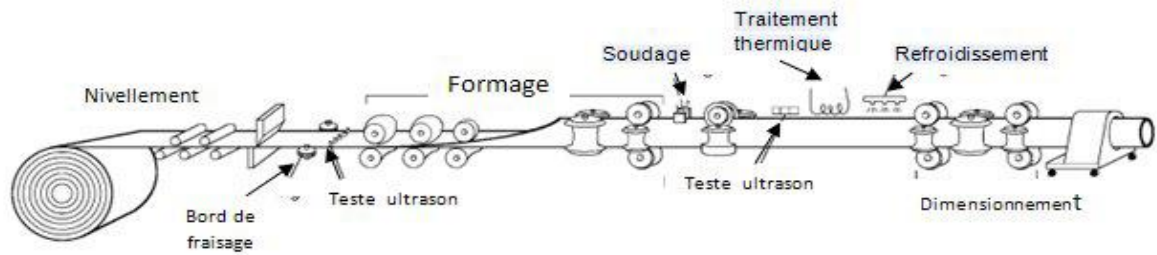


Figure.III.2: les étapes de fabrication des tubes [16]

III.2.2 Caractéristiques techniques : [6]

Largeur de bande	
Bande non rangée	630 à 1830 mm
Bande rangée	600 à 1800 mm
Poids de bobine	Max. 30 MPa 30 Tonnes
Diamètre extérieur de bobine	1200 à 2000 mm
Diamètre intérieur de bobine	600 à 820 mm
Angle d'entrée de bobine	18° à 45°
Epaisseur de la paroi du tube	8 à 16 mm
Gamme de diamètre du tube	16 à 64 pouce (406.4 mm à 1625.6 mm)
Gamme de longueur du tube	9 à 16 m
Qualité de tube	Acier+ Fer

Tableau.III.1 : Caractéristiques Techniques De La Machine A Souder

III.2.3 Les composants de La machine à souder spirale :

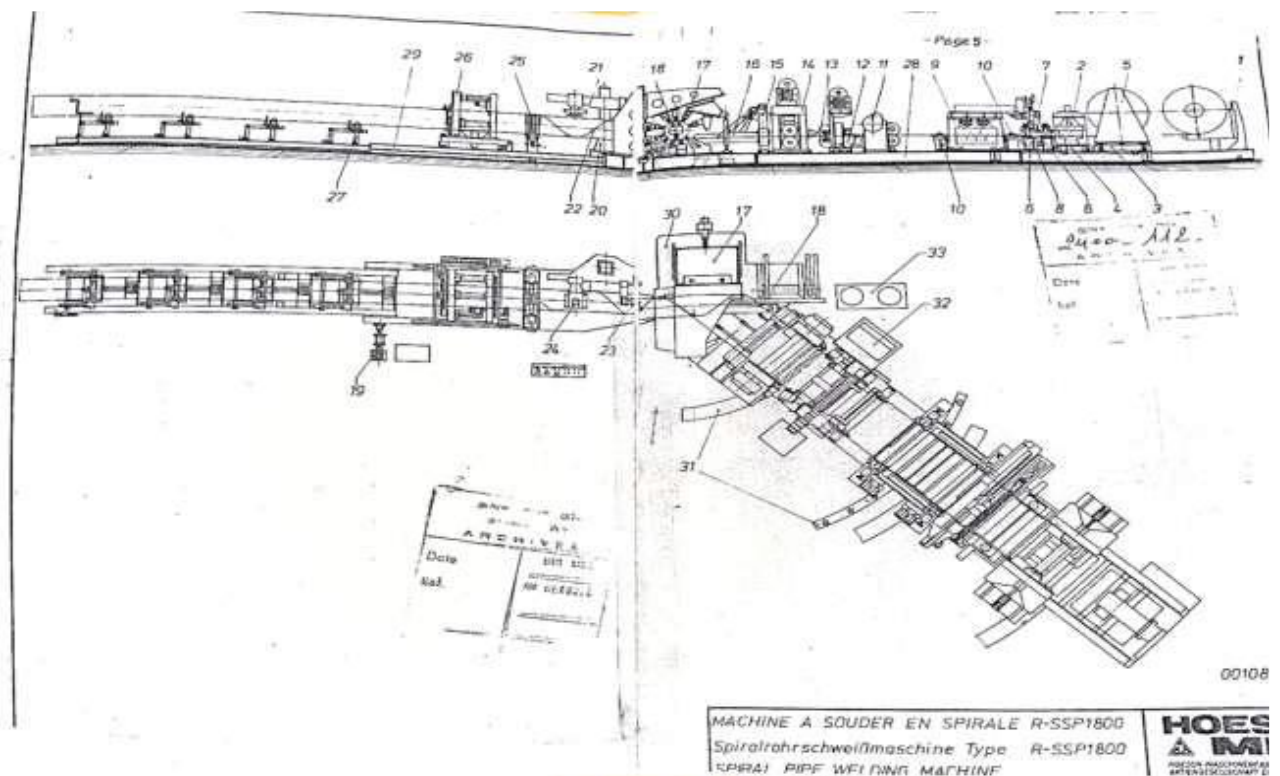


Figure.III.3: Plan de la machine à souder en spirale R-SPP1800 [2]

Nombre	Élément
01	Support de bobine de réserve
02	Dresseuse à 3 rouleaux
03	Chariot de bobine
04	Chariot dressage
05	Support de bobine
06	Dispositif de serrage d'extrémités de tubes (début et fin)
07	Dispositif de soudage transversal des bandes et dispositif de cisailage
08	Dispositif d'ébavurage et de rabotage

Chapitre III : Description Générale De La machine à Souder R-SSP 1800

09	Dresseuse à rouleaux multiples
10	Guidage de bande
11	Cisaille de rognage
12	Dispositif de raclage
13	Unité de brossage de rives de bande
14	Entraîneur principal
15	Dispositif de préformage des rives de bandes
16	Table de guidage de bande
17	Cage de formage
18	Bras intérieur
19	Dispositif de réglage de la fente de soudure
20	Support pour soudage extérieur
21	Traverse pur soudage extérieur et contrôle US
22	Dispositif de réglage pour tête de soudure extérieur et contrôle US
23	Soudure extérieure (mécanique)
24	Dispositif contrôle US pour fente de soudure (mécanique et électronique)
25	Lunette de commande
26	Chariot d'oxycoupage
27	Dispositif de descente de tubes
28	Châssis sortie
29	Châssis pour cage de formage et bras intérieur
30	Plaques de fondation

Chapitre III : Description Générale De La machine à Souder R-SSP 1800

31	Installation hydraulique
32	Dispositif de soudage

Tableau.III.2: Noms des éléments

III.2.4 Chaises-support de bobine :

Le réglage des sièges du support de bobine nécessite un alignement horizontal et vertical correspondant au diamètre de la bobine et à la largeur de la bande métallique.

Le réglage préliminaire du siège s'effectue à l'aide de la vanne hydraulique manuelle, en l'ajustant à la valeur indiquée sur l'échelle correspondant à la largeur de la bande.

Lorsque la bobine doit être fixée ultérieurement par le support, un réglage de précision doit être effectué afin de garantir une compatibilité parfaite.

Si le diamètre de la bobine dépasse 1700 mm, il est nécessaire de retirer la pièce référencée (3) — le chariot de bobine.

Pour les largeurs de bande inférieures à 1250 mm, les bras de support (4) — du chariot de dressage — doivent être retirés.

III.2.5 Support de bobine :

Les butées des supports de bobine sont réglées en fonction des différentes largeurs de bande.

Le point de fixation du vérin hydraulique sur le côté opérationnel est fixe et n'est pas modifié.

La butée intérieure fixe sur le côté opérationnel n'est réglée qu'une seule fois, lors de la première mise en service.

Le point de fixation du vérin hydraulique est réglé sur la largeur de bobine correspondante.

La butée intérieure est également réglée sur la largeur de bobine correspondante.

Les cônes de réception existants peuvent être utilisés pour des diamètres intérieurs de bobine allant de 600 mm à 720 mm

Pour les diamètres intérieurs de bobine supérieurs à 720 mm, il convient de monter des corps de rouleaux supplémentaires d'un diamètre de 700 mm sur les cônes.

(Les coûts supplémentaires engendrés ne sont pas à la charge du fabricant).



Figure.III.4: Support bobine

III.2.6 Dresseuse :

Lors de la réception d'une nouvelle bobine, en marche arrière commune de la bobine et du chariot de dressage (dérouleuse), avec les unités support de bobine, la redresseuse à rouleaux et le dispositif de serrage du début de bande, les rouleaux supérieurs de la redresseuse doivent être relevés (en position haute).

III.2.7 Dispositif de serrage du début de bande :

Le réglage de la force de pression (100 MPa) pour les différentes largeurs de bande s'effectue de la manière suivante :

La règle graduée (fournie séparément) est suspendue dans le trou de centrage de la vis. Ensuite, la vis de serrage est ajustée jusqu'à ce que l'indicateur sur l'échelle graduée montre l'épaisseur de la bande à serrer.

Il faut ensuite serrer fermement le contre-écrou

III.2.8 Raboutage de bande :

Ce système soude automatiquement la fin de la bobine épuisée au début de la nouvelle bobine.

Chapitre III : Description Générale De La machine à Souder R-SSP 1800

Il Fonctionne pendant un arrêt temporaire court de la production afin d'assurer la continuité de l'alimentation

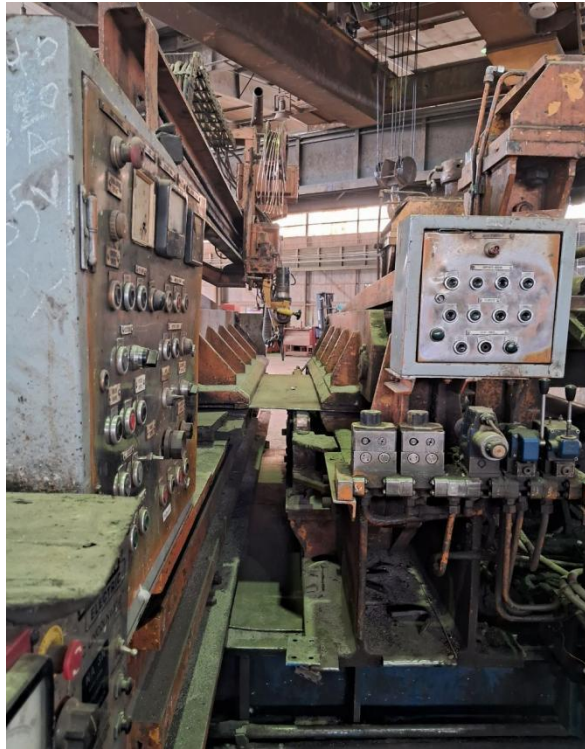


Figure.III.5: Raboutage

III.2.9 Planeuse et guidage de bande :

Assure la rectitude de la bande métallique et son guidage précis vers la cage de formage.

La pression des rouleaux est ajustée en fonction de l'épaisseur de la bande avec modification des guides latéraux selon la largeur.



Figure.III.6: Planeuse et guidage de bande

III.2.10 Cisailage :

- Coupe les bords de la bande métallique pour déterminer sa largeur finale avec précision.
- Découpe les déchets générés en petits morceaux à l'aide de cylindres rotatifs équipés de lames.

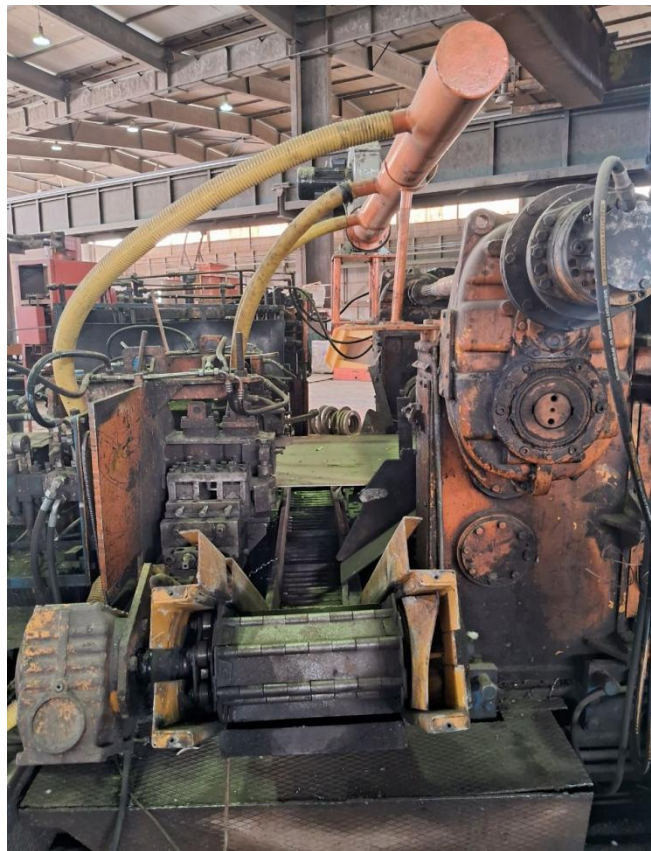


Figure.III.7: Cisailage

III.2.11 Formage :

- Entraînement de la bande par deux cylindres principaux.
- Courbage progressif de la bande à l'aide de galets profileurs.
- Guidage et maintien de la bande par des bras équipés de plaques en Téflon.
- Formage final dans la cage de formage selon le diamètre requis.



Figure.III.8: Formage de la bonde

III.2.12 Soudage des bandes :

La fabrication du tube implique deux étapes principales :

1.Enroulement : Les bandes d'acier sont enroulées en forme hélicoïdale (en spirale) pour former le corps du tube.

2.Soudage : Le bord de la bande hélicoïdale est soudé pour le fermer, en utilisant une technique avancée appelée "soudage à l'arc submergé" sous flux.

- Le soudage se fait en deux passes : une à l'intérieur et une à l'extérieur pour assurer la résistance de la soudure.

Chapitre III : Description Générale De La machine à Souder R-SSP 1800

- Les bords sont préparés (cisailés et chanfreinés) avant le soudage pour garantir un ajustement parfait.
- Un système automatique contrôle avec précision l'écart entre les bords à souder pour assurer la qualité de la soudure.
- Une brosse énergétique est utilisée pour nettoyer la surface intérieure de toute oxydation ou saleté avant le soudage pour un résultat optimal.



Figure.III.9: Soudage extérieur et intérieur de tube

III.2.13 Oxycoupage des tubes :

Lorsque le tube a atteint sa longueur programmée, il est coupé automatiquement par un procédé d'oxycoupage sur le châssis arrière de la machine spirale, puis évacué sur des grilles de stockage.

Cette étape ne constitue pas la phase finale du processus de production, mais plutôt une étape intermédiaire automatisée. Après la coupe et le stockage, le tube passe généralement par d'autres phases de production ultérieures.



Figure.III.10: Oxycoupage par Chalumeur

III.3 Procédures de sécurité pour la machine à souder en spirale :

- Les opérateurs doivent vérifier la présence de tous les dispositifs de sécurité dans les zones dangereuses avant de démarrer la machine.
- il est Strictement interdit à toute personne non autorisée de se trouver près de la machine pendant le fonctionnement.

Les zones les plus dangereuses comprennent :

- La zone entre le support de bobine et le chariot de réception.
- Autour des outils de découpe et de formage.
- La zone de déplacement du chariot d'oxycoupage.
- Les zones de manipulation des tubes.
- Un bouton d'arrêt d'urgence rouge est disponible sur tous les postes de commande, à utiliser en cas de besoin.

III.4 Maintenance de la machine en spirale :

La sécurité opérationnelle et la durée de vie de la machine dépendent principalement :

- De la maintenance périodique régulière.

- De l'entretien continu des équipements.
- Du respect des programmes de maintenance préventive.

III.5 Conclusion :

La production de tubes par soudage en spirale représente un système intégré alliant précision d'ingénierie et technologies avancées, où l'importance de la coordination entre les différentes phases opérationnelles — depuis la mise en forme de la bande métallique jusqu'à la coupe finale — devient particulièrement évidente. Les mesures de sécurité et la maintenance périodique démontrent que l'efficacité de ce processus ne se mesure pas seulement à la qualité du produit fini, mais également au niveau de sécurité opérationnelle et à la durabilité à long terme des équipements. Le respect de ces normes constitue un facteur déterminant pour garantir une productivité élevée tout en maintenant un environnement de travail sécurisé et en prévenant les pannes imprévues, faisant de ces processus un modèle d'intégration entre fabrication avancée et gestion des risques.

Chapitre IV

APPLICATION DES OUTILLES D'ANALYSES SUR LES DONNÉES DE L'ENTREPRISE

IV.1 Introduction :

Cette étude représente une analyse approfondie et complète des performances et de la fiabilité de la machine à soudage spiralé type R-SSP 1800, qui constitue un élément vital de la ligne de production.

L'étude vise à identifier les causes des arrêts fréquents et des pannes qui affectent l'efficacité opérationnelle et la productivité, en appliquant des méthodologies analytiques avancées telles que l'analyse de Pareto, l'analyse des arbres de défaillance et l'étude AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité).

L'étude s'est appuyée sur des données de terrain précises, incluant le nombre de pannes et le temps d'arrêt total pour chaque composant de la machine, ce qui a permis d'établir des priorités basées sur les critères de fiabilité, de disponibilité et de maintenabilité.

Les composants ont été classés en trois zones principales (A, B, C) selon leur degré d'impact sur l'arrêt de la machine, facilitant ainsi la prise de décisions managériales et techniques pour réduire les pertes de production et diminuer les coûts de maintenance.

Le tableau ci-dessous (IV.1) présente le résumé de l'étude des défaillances sur une année complète.

Nombre	Date	Début de panne	Fin de panne	Temps d'arrêt	Cause de la Panne
01	15/01/2024	08::15	10:15	2H00	Brulure des enroulements
02	12/02/2024	14:00	15:30	1H30	Eclatement du flexible
03	05/03/2024	09:10	11:10	2H00	Accumulation d'impuretés
04	02/04/2024	13:20	16:20	3H00	Brulure des enroulements
05	22/04/2024	10:05	12:05	2H00	Usure de la surface
06	14/05/2024	07:30	09:30	2H00	Roulement endommagé
07	10/06/2024	11:15	13:15	2H00	Fuite d'huile des joints
08	08/07/2024	15:45	17:45	2H00	Désalignement des axes
09	05/08/2024	08:50	10:50	2H00	Déformation du support
10	02/09/2024	14:30	15:30	1H00	Système de graissage bouché
11	30/09/2024	09:40	12:40	3H00	Boulons desserrage
12	21/10/2024	10:20	11:50	1H30	Fuite d'huile du groupe
13	18/11/2024	13:10	15:10	2H00	Flasque cassée
14	09/12/2024	08:35	10:35	2H00	Roulement endommagé
15	13/01/2025	07:15	12:15	5H00	Paliers détruits

Tableau.IV.1: L'historique des défaillances de la machine à souder R-SSP 1800

IV.2 Application des Méthode D'analyse :**IV.2.1 Application la Méthode ABC :**

Ce tableau représente une étude approfondie des défaillances sur année complète

Les problème (Organe)	les heures d'arrêt(h)	cumul	% cumul	Zone
Soudage	32,42	32,42	20,74%	A
Groupe hydraulique	30,25	62,67	40,09%	A
Armoire	16,83	79,5	50,85%	A
Chariot pompe d'oxycoupage	14,83	94,33	60,34%	A
Chalumeau	7,25	101,58	64,97%	A
Dévidoir	6,67	108,25	69,24%	A
Travaux de fabrication	6,42	114,67	73,35%	A
Chaise	6,25	120,92	77,34%	A
Bloc chanfrein	6	126,92	81,18%	B
Bloc cisaille	4,83	131,75	84,27%	B
Table élévatrice	4,75	136,5	87,31%	B
Flexible de graissage	4,67	141,17	90,30%	B
Guide chutes	4,42	145,59	93,12%	B
Galet d'appui	3,58	149,17	95,41%	C
Galet bloc chanfrein	3,33	152,5	97,54%	C
Chariot RB	1,42	153,92	98,45%	C
Préplaneuse	1	154,92	99,09%	C
Transport chute	0,92	155,84	99,68%	C
Galet d'entrée	0,5	156,34	100,00%	C

Tableau.IV.2: analyse ABC

IV.2.1.1 La Courbe de Pareto :

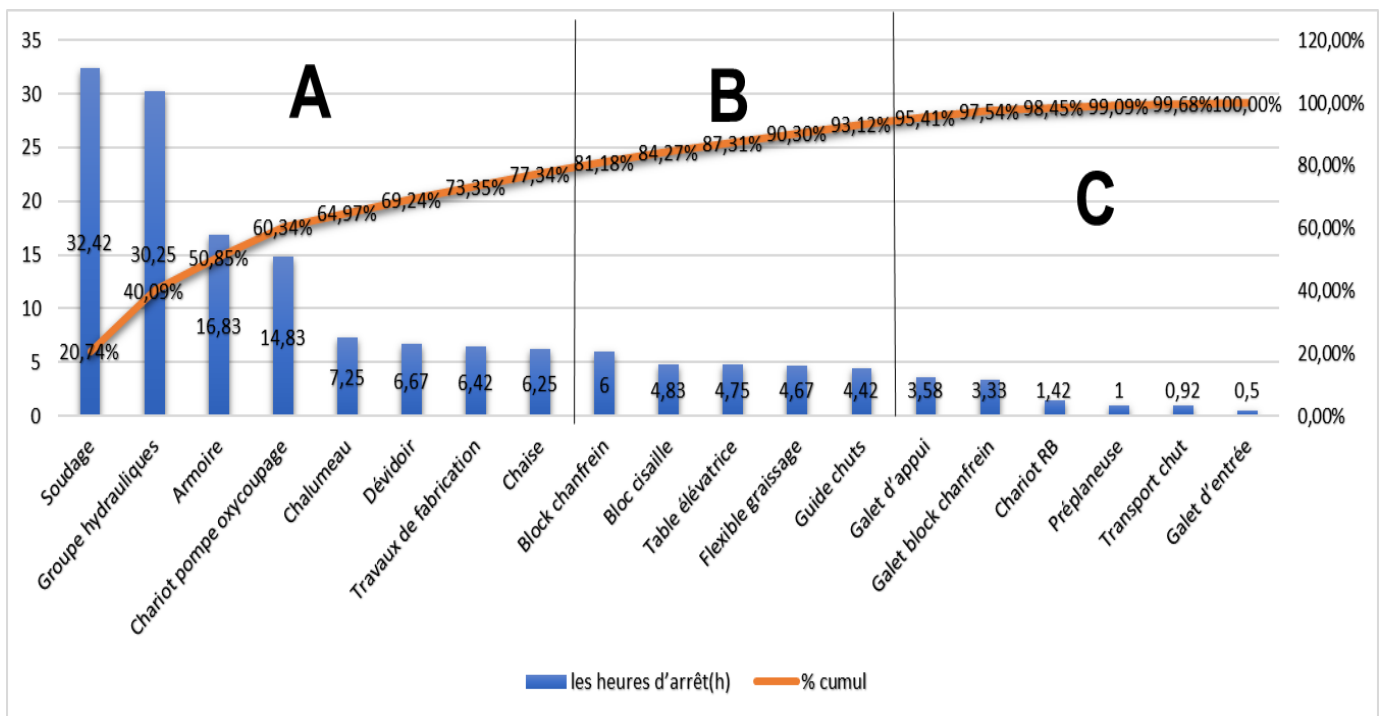


Figure.IV.1: La Courbe d'ABC

IV.2.1.2 Interprétation des résultats :

Zone A : Nous constatons que trois types de dysfonctionnements ont provoqué des arrêts de la machine, représentant environ 50,85 % du temps d'arrêt total.

Après analyse, il a été établi que huit composants appartenant à cette zone sont responsables de 77,35 % du temps d'arrêt global. Ces composants sont : (Soudage, Groupe hydraulique, Armoire, Chariot pompe d'oxycoupage, Chalumeau, Dévidoir, Travaux de fabrication, Chaise).

Cette zone est donc prioritaire et nécessite la planification de formations ciblées pour les techniciens sur la maintenance et l'exploitation du poste de soudage R-SSP 1800, le renforcement de la maintenance préventive régulière, ainsi que la gestion rigoureuse du stock de pièces de rechange.

Zone B : Les défaillances associées à cette zone représentent environ 15,77 % du temps d'arrêt total et concernent cinq composants principaux : (Bloc chanfrein, Bloc cisaille, Table élévatrice, Flexible de graissage, Guide chutes).

Cette zone nécessite la mise en œuvre d'une maintenance corrective adaptée et la disponibilité de pièces de rechange pour limiter les interruptions de production.

Zone C : Cette zone regroupe six composants responsables d'environ 6,88 % du temps d'arrêt total. Les composants concernés sont : (Galet d'appui, Galet bloc chanfrein, Chariot RB, Préplaneuse, Transport chute, Galet d'entrée).

Une maintenance conditionnelle doit être appliquée dans cette zone, fondée sur l'observation de l'état réel des composants et sur le suivi continu des paramètres de performance

IV.2.2 Analyse FMD :

. Diagrammes de N, Nt et t :

Sous -ensemble	Les Panne
A	Soudage
B	Galet d'appui
C	Armoire
D	Chaise
E	Chalumeau
F	Préplaneuse
G	Bloc cisaille
H	Galet d'entrée
I	Chariot RB
J	Flexible de graissage
K	Dévidoir
L	Guide chutes
M	Travaux de fabrication
N	Transport chute
O	Groupe hydraulique
P	Chariot pompe d'oxycoupage
Q	Galet bloc chanfrein
R	Bloc chanfrein
S	Table élévatrice

Tableau.IV.3: sous ensemble

sous-ensembles	N	Nt	\bar{t}
A	58	32,42	0,56
B	6	3,58	0,60
C	29	16,83	0,58
D	11	6,25	0,57
E	5	7,25	1,45
F	2	1	0,5
G	7	4,83	0,69
H	3	0,5	0,17
I	4	1,42	0,36
J	10	4,67	0,47
K	9	6,67	0,74
L	3	4,42	1,47
M	15	6,42	0,43
N	2	0,92	0,46
O	32	30,25	0,95
P	29	14,83	0,51
Q	3	3,33	1,11
R	7	6	0,86
S	18	4,75	0,26

Tableau.IV.4: N, Nt et \bar{t}

IV.2.2.1 Analyse des éléments les moins fiables (Fiabilité) :

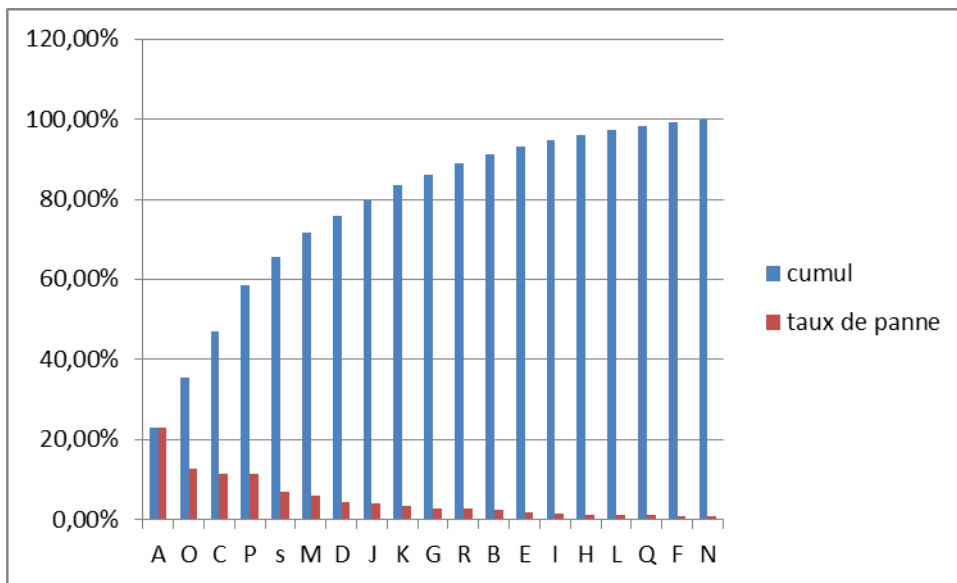


Figure.IV.2: Des éléments les moins Fiables

- Critère : Nombre de pannes (N).

- Résultat : Classement des composants les plus sujets aux pannes basé sur la valeur N :

- A (Soudage) : N=58 (fiabilité la plus faible)

- O (Groupe hydraulique) : N=32

- C (Armoire) : N=29

- P (Chariot pompe d'oxycoupage) : N=29

- Recommandation : Se concentrer sur ces composants afin d'améliorer la qualité de fabrication, d'augmenter la fréquence des inspections périodiques et, si nécessaire, de remplacer les matériaux.

IV.2.2.2 Analyse des éléments les moins disponibles (Disponibilité):

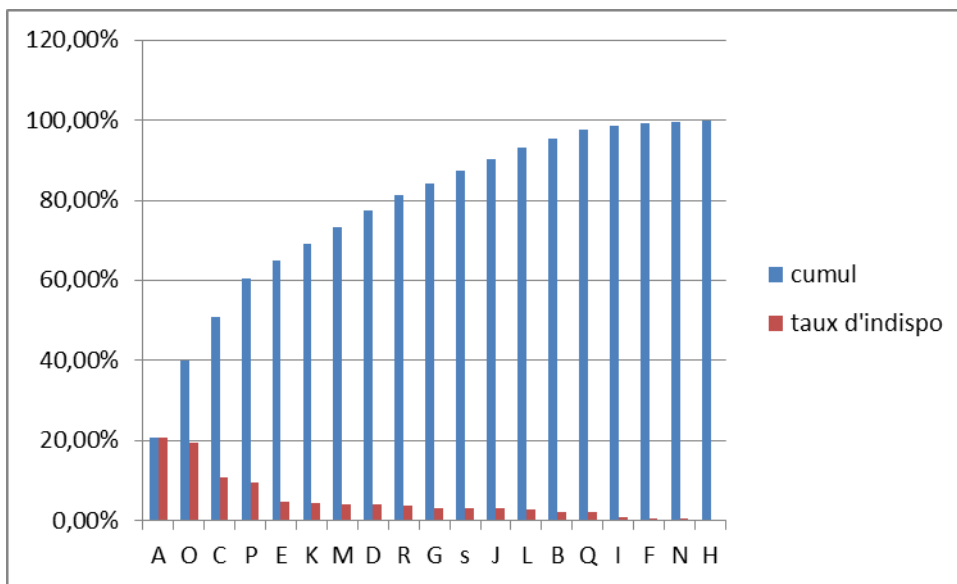


Figure.IV.3: Des éléments les moins Disponibles

- Critère : Temps d'arrêt total (Nt), reflétant la perte de productivité.

- Résultat : Classement des composants ayant le plus d'impact sur la disponibilité, basé sur Nt :

- A (Soudage) : Nt=32,42 (temps d'arrêt le plus élevé)

- O (Groupe hydraulique) : Nt=30,25

- C (Armoire) : Nt=16,83

- P (Chariot pompe d'oxycoupage) : Nt=14,83

- Recommandation : Donner la priorité à ces composants pour réduire le temps d'arrêt total, grâce à une maintenance préventive intensive.

**IV.2.2.3 Analyse des éléments les moins maintenables
(Maintenabilité) :**

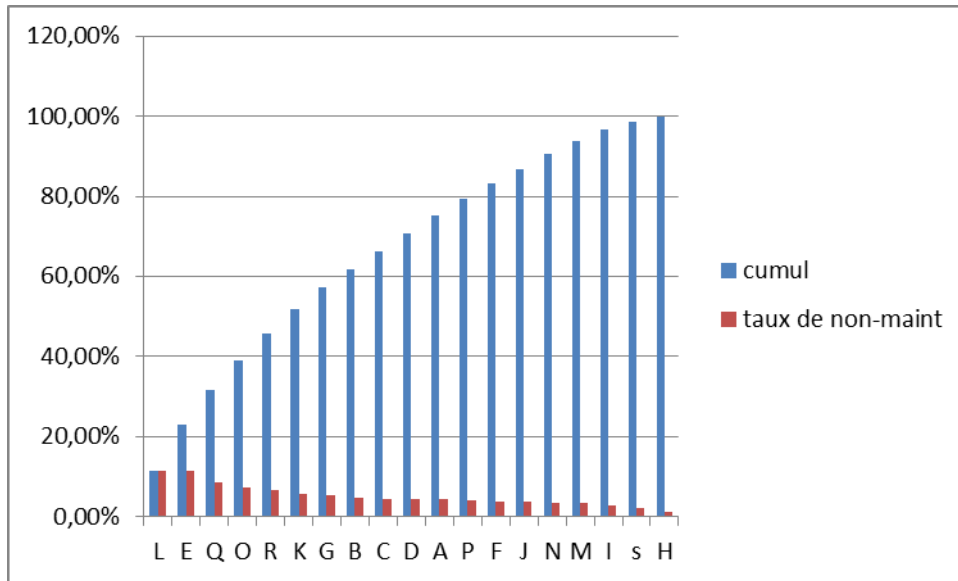


Figure.IV.4: Des éléments les moins Maintenables

- Critère : Temps moyen de réparation (t), reflétant la difficulté de maintenance.

- Résultat : Classement des composants les plus difficiles à réparer basé sur t :

- L (Guide chutes) : t=1,47 (temps de réparation le plus long)

- E (Chalumeau) : t=1,45

- Q (Galet block chanfrein) : t=1,11

- O (Groupe hydraulique) : t=0,95

- Recommandation : Améliorer les procédures de maintenance pour ces composants à travers :

- La formation des techniciens.

- La simplification des procédures de démontage et de remontage.

- La disponibilité des pièces de rechange.

IV.2.2.4 Résumé :

- Nous devons donner la priorité au composant A(soudage) car il est le plus critique, combinant la fiabilité la plus faible avec le temps d'arrêt le plus élevé.

- les composants L(Guide chutes) E(Chalumeau) Q(Galet bloc chanfrein) sont les plus difficiles à réparer et nécessitent un temps de maintenance prolongé.

IV.2.2.5 Actions proposées :

-Mise en œuvre d'une maintenance préventive intensive sur les composants A(Soudage) O(Groupe hydraulique) C(Armoire) P(Chariot pompe d'oxycoupage)

-Optimisation de maintenabilité des éléments L(Guide chutes) E(chalumeau) Q(Galet bloc chanfrein)

IV.2.3 Etude AMDEC:

Détection	
Note	Critère
1	Détection automatisée (100%)
2	Détection humaine
3	Détection aléatoire
4	Aucun moyen de détection

Tableau.IV.5: Indice de détection D

Gravité	
Note	Critère
1	Aucune incidence sur la conformité produit
2	Produit non-conforme mais fonctionnel
3	Produit non-conforme et non fonctionnel
4	Produit non-conforme avec mise en danger du patient

Tableau.IV.6: Indice de gravité G

Fréquence	
Note	Critère
1	une fois par an
2	Au moins une fois par mois
3	Au moins une fois par semaine
4	Au moins une fois par jour

Tableau.IV.7: Indice de fréquence F

AMDEC : Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leurs Criticités

Sous-système : La Machine à souder spirale R-SSP1800

L'élément	Fonction	Modes de défaillance	Cause	Effet	Détection	Criticité				Action
						F	G	D	C	
Tête de soudage	Soudage de tubes	Court-circuit électrique	Accumulation d'impuretés carbonées sur les électrodes	Etincelles anormales pendant le fonctionnement	Visuel	2	3	2	12	Réparation des électrodes et remplacement périodique
Poste à souder	Alimentation en énergie	Instabilité du courant électrique	Détérioration des enroulements du transformateur	Mauvaise qualité de soudage	Visuel	2	3	2	12	Réparation des transformateurs
Rabotage	Maintien de la bande	Enfouissement	Choc de la bande	Déformation structurale	Visuel	2	4	3	24	Remplacement du support

Chariot transporteur de chutes	Transport de chutes	Immobilisation	Panne du moteur électrique	Accumulation de chutes	Visuel	1	4	2	8	Intervention sur le moteur
Tunnel guide-chutes	Guidage des chutes	Desserrement	Vibration	Obstruction du passage	Visuel	1	3	1	3	Réalignement et fixation
Flexible	Alimentation en huile	Rupture	Pression excessive	Dysfonctionnement du système	Visuel	4	1	1	4	Remplacement du Flexible
Vérin de déplacement	Contrôle du mouvement	Fuite de fluide	Joints usés	Baisse des performances	Visuel	1	3	1	3	Remplacement des joints
Chariot d'oxycoupage	Coupage de bande	Blocage	-Manque de phase moteur -Défaut électrique	Mauvais Démarrage	Auditif	2	4	4	32	Réparation des phases ou remplacement du moteur
Galet d'appui	Support et guidage de la bande	Blocage	Manque de graissage	Marquage sur la bande	Visuel	2	3	2	12	Contrôle et graissage périodique
Préplaneuse	Dresseur de	Fissure/cisaille	Forçage /Choc	Mauvais	Visuel	1	2	2	4	Surveillance

	bobine	ment		serrage						visuelle
Roulement (Block cisaille)	Coupe des bordé excédentaire	Ecaillage	Forçage	Blocage	Visuel	3	2	2	12	Remplacement des paliers
Galet d'entrée	Guidage de bande d'entrée	Usure	Manque de graissage	Marquage sur la bande	Visuel	1	3	2	6	Graissage périodique
Dévidoir (axe de galet support bobine)	Enroulement et transport	Usure des axes	Forçage	Désalignement	Visuel	1	1	3	3	Alignement périodique
Tunnel Guide chutes (bloc cisaille)	Guidage des chutes	Usure par Carbure	Choc	Mauvaise orientation du chutes	Visuel	2	2	2	8	Correction de la position
Groupe hydraulique(réducteur)	Alimentation énergie hydraulique	Fuite d'huile	Joints endommagés	Mauvaise lubrification	Visuel	1	3	2	6	Remplacement des joints
Block chanfrein(galet)	Formage bords chanfreinés	Usure du galet	Frottement	Décalage de la bande	Visuel	3	3	2	18	Remplacement urgent du galet

Table élévatrice(rotule)	Support du tube	Écaillage	Manque de graissage	Marquage sur le tube	Visuel	2	3	2	12	Remplacement du galet
Aspirateur de flux(roulement)	Transport de flux	Écaillage	Manque de graissage	Bruit et échauffement	Auditif	2	2	2	8	Remplacement le roulement

Tableau.IV.8: Analyse AMDEC de Machine à soudure spiralé

IV.2.3.1 Classification des éléments par leur criticité :

L'élément	Criticité (C)	Maintenance appliquée
Chariot d'oxycoupage	32	Maintenance Préventive
Rabotage	24	Maintenance Préventive
Block chanfrein(galet)	18	Maintenance Préventive
Tête de soudage	12	Maintenance Préventive
Poste à souder	12	Maintenance Préventive
Galet d'appui	12	Maintenance Préventive
Roulement (Block cisaille)	12	Maintenance Préventive
Table élévatrice (rotule)	12	Maintenance Préventive
Chariot transporteur de chutes	8	Maintenance Corrective
Tunnel Guide chute (bloc cisaille)	8	Maintenance Corrective
Aspirateur flux(roulement)	8	Maintenance Corrective
Galet d'entrée	6	Maintenance Corrective
Groupe hydrauliques(réducteur)	6	Maintenance Corrective
Préplaneuse	4	Maintenance Conditionnelle
Flexible	4	Maintenance Conditionnelle
Dévidoir (axe de galet support bobine)	3	Maintenance Conditionnelle
Vérin de déplacement	3	Maintenance Conditionnelle
Tunnel guide-chute	3	Maintenance Conditionnelle

Tableau.IV.9: Classification des éléments par leur criticité

IV.2.3.2 Interprétation du classement :

Maintenance préventive :

- Appliquée aux éléments à criticité élevée ($C \geq 12$).

- Raison : Ces éléments ont un impact important sur la production et la qualité, et nécessitent une surveillance régulière ainsi qu'un remplacement programmé pour éviter les pannes soudaines.

Maintenance corrective :

- Appliquée aux éléments à criticité moyenne ($8 \leq C < 12$).

- Raison : Ces éléments peuvent causer des pannes ayant un impact modéré et peuvent être traités lors de la défaillance sans nécessiter de remplacement coûteux.

Maintenance conditionnelle :

- Appliquée aux éléments à faible criticité ($C < 8$).

- Raison : Ces éléments ont un impact mineur et leur état peut être surveillé via des inspections périodiques pour anticiper la maintenance nécessaire.

IV.2.3.3 Recommandations générales de maintenance :

1. Concentrer les efforts sur les éléments avec $C \geq 12$:

- Établir un programme de maintenance préventive régulier.

- Former les techniciens à la détection précoce des défauts.

2. Surveiller les éléments avec C entre 8 et 12 :

- Planifier une maintenance corrective si nécessaire.

- Assurer la disponibilité des pièces de rechange.

3. Surveillance continue des éléments avec $C < 8$:

- Utiliser des systèmes de surveillance (vibrations, température, bruit).

- Intervenir lors des signes de détérioration.

IV.3 Comparatif des méthodologies d'analyse utilisées :

Critère	Analyse ABC (Pareto)	Analyse (FMD)	Analyse AMDEC
Objectif principal	Classer les priorités	Évaluation technique de la performance	Analyse proactive des risques
Type d'analyse	Statistique (quantitative)	Statistique (quantitative)	Qualitative et quantitative
Se concentre sur	L'impact (Temps d'arrêt/ Coût)	La performance (nombre de pannes, temps d'arrêt, durée réparation)	Les risques (Gravité, Fréquence, Détection)
Principales sorties	Classement ABC (A, B, C) des composants	Identification des points faibles (pannes, indisponibilité, difficulté de réparation)	Indice de criticité (C) et plan d'actions correctives
Bénéfice pratique	Orienter les ressources vers les zones à plus fort impact	Comprendre le comportement de l'équipement pour des décisions techniques	Prévenir les pannes via une maintenance préventive
Rôle dans la démarche	Étape 1 : Filtrage et concentration	Étape 2 : Diagnostic technique approfondi	Étape 3 : Planification proactive du traitement

Tableau.IV.10: comparatif des méthodologies d'analyse

Ces méthodologies sont complémentaires et forment une démarche intégrée allant de la priorisation (ABC) au diagnostic technique (FMD) pour aboutir à la planification d'actions proactives (AMDEC), permettant ainsi de passer d'une maintenance corrective à une maintenance préventive.

IV.4 Conclusion :

Cette étude vise à améliorer les performances de la machine à soudage spiralé R-SSP 1800 grâce à une analyse systématique des pannes et à l'application de stratégies de maintenance avancées. L'étude s'est appuyée sur l'analyse de Pareto, les arbres de défaillance et l'étude AMDEC pour prioriser les actions avec précision.

Résultats principaux :

- Les composants critiques de la Zone A, responsables de 80% des pannes, ont été identifiés, tels que l'unité de soudage et le groupe hydraulique.

- Un plan de maintenance gradué a été établi : préventive pour les composants à haut risque ($C \geq 12$), corrective pour les risques modérés ($8 \leq C < 12$), et conditionnelle pour les risques faibles ($C < 8$).

- Les recommandations mettent l'accent sur la réduction des temps d'arrêt, l'amélioration de la qualité et la baisse des coûts grâce à la formation des techniciens, la disponibilité des pièces détachées et des systèmes de surveillance.

Impact attendu :

- Augmentation de la disponibilité de 20 à 30%, réduction des coûts de maintenance de 40% et amélioration de la fiabilité de la machine.

- Transition réussie d'une maintenance réactive à proactive, garantissant la stabilité de la production et la qualité du produit.

Recommandation finale : Mise en œuvre immédiate du plan avec un suivi continu pour atteindre les résultats escomptés.

CONCLUSION GÉNÉRAL

Conclusion Général

Conclusion Générale :

Dans le cadre de ce travail, la maintenance et la fiabilité de la machine à soudage spiralé R-SSP 1800 de l'entreprise ALFAPIPE Ghardaïa ont été étudiées et analysées. Cette étude visait à améliorer les performances de cette machine vitale, qui constitue un pilier essentiel de la ligne de production, en identifiant les causes des pannes fréquentes, en réduisant les temps d'arrêt et en augmentant la disponibilité et la fiabilité.

L'étude s'est appuyée sur une méthodologie analytique multi-outils, comprenant :

- L'analyse ABC (Principe de Pareto) pour classer les composants selon leur impact sur l'arrêt de la machine.

- L'analyse FMD (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité) pour évaluer la performance technique des composants.

- L'étude AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) pour une analyse proactive des risques et la définition des priorités de maintenance.

Les analyses ont produit des résultats significatifs, en identifiant les composants ayant le plus d'impact sur les interruptions de production (Zone A selon l'analyse ABC), tels que l'unité de soudage et le groupe hydraulique. L'étude FMD a révélé les composants les moins fiables et les plus difficiles à entretenir. L'étude AMDEC a permis de classer les composants selon leur degré de criticité et d'établir un plan de maintenance proactive basé sur les priorités.

L'étude a abouti à un ensemble de recommandations principales, notamment :

- La mise en œuvre d'une maintenance préventive intensive sur les composants à haut risque (indice de criticité $C \geq 12$).

- L'adoption d'une maintenance corrective pour les composants à risque modéré.

- L'utilisation d'une maintenance conditionnelle basée sur la surveillance pour les composants à faible risque.

- La nécessité de former les techniciens aux opérations de maintenance spécialisées et de garantir la disponibilité des pièces de rechange critiques.

- La mise en place de systèmes de surveillance continue (vibrations, température, bruit) pour la détection précoce des défaillances.

Conclusion Général

Les recommandations proposées devraient conduire à une amélioration significative des performances de la machine, se traduisant par :

- Une amélioration de la qualité du produit et de la stabilité du processus de production.
- Une transition effective d'une culture de maintenance corrective (après la panne) vers une culture de maintenance préventive et proactive (avant la panne).

Enfin, cette étude souligne l'importance stratégique de l'adoption de méthodologies analytiques scientifiques dans la gestion de la maintenance, contribuant à renforcer la compétitivité en améliorant la productivité, en réduisant les coûts et en garantissant la continuité des opérations de manière sûre et fiable.

RÉFÉRENCES ET BIBLIOGRAPHIE

Références et Bibliographie

- [1]. DJEKAOUA, et HACINI : **Archive**, Présentation d'entreprise, ALFA PIPE, 2020.
- [2]. Documentation administrative ALFAPAIPE
- [3]. Boubekour, M., & Bahaz, A. (2022). Les paramètres nécessaires pour l'optimisation de la fiabilité des équipements dans l'entreprise Alfa pipe GHARDAIA [Mémoire de master, Université de Ghardaïa].
- [4]. ABBOUNA, M., & HABIRECHE, S. (2022). Optimisation de la maintenance par la méthode AMDEC et FMD d'un banc hydrostatique [Mémoire de Master]. Université de Ghardaïa, Faculté des Sciences et de la Technologie, Département Automatique et Électromécanique.
- [5]. COURE, Stratégie de maintenance, présente par Dr. Bellaour université de Ghardaïa.p4,7
- [6]. AMIEUR, A., & SEBA, N. (2021). Données techniques et historiques de la machine à souder spirale R-SPP1800 et présentation de l'entreprise ALFAPIPE [Archive interne et documentation technique non publiée]. ALFAPIPE SPA, Ghardaïa
- [7]. Halimi, D. (2014). Contribution à l'amélioration de la maintenance préventive des machines dynamiques dans l'industrie des hydrocarbures [Thèse de doctorat non publiée]. Université M'hamed Bougara Boumerdès.
- [8]. ASBI Samir : évaluation des caractéristiques du fonctionnement d'une turbine à gaz, univ Bejaïa 2017
- [9]. Belaziz, T. E., & Benlahbib, B. (2016). Bureau de méthodes de maintenance [Mémoire de master]. Université Kasdi Merbah Ouargla, Faculté des Sciences Appliquées, Département de Génie Mécanique.
- [10]. BELLAOUAR, Ahmed et BELEULMI, Salima. (2013). Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité (FMD). Constantine, Algérie : Université Constantine 1, Faculté des Sciences de la Technologie, Département de Génie des Transports. 106 p.
- [11]. FERDI, O. (2017). Étude FMD des machines à souder en spirale de la tuberie ALFAPIPE sur la base des historiques maintenance 2015 [Mémoire de Master 2]. Université Badji Mokhtar - Annaba, Faculté des Sciences de l'Ingénierie, Département de Génie Mécanique, Option : Maintenance Industrielle et Fiabilité Mécanique .

Références et Bibliographie

- [12]. BELKEBIR, M. L., & BOUMIDOUNE, A. (2019). Etude FMD et analyse AMDEC sur la turbine à gaz MS5002C [Mémoire de Master]. Université de Ghardaïa, Faculté des Sciences et Technologies.
- [13]. Ghosh, D., & Roy, S. (2009). Maintenance optimization using probabilistic cost-benefit analysis. Department of Chemical Engineering, Indian Institute of Technology, Bombay.
- [14]. COURS Fiabilité des systèmes, par Mr. Merzoug Hocine, Université de Ghardaïa, 2020
- [15]. NAIMI, Sofiane, et HADJ-KOUIDER, Ali Redha. AMDEC MACHINE SOUDEUSE G45 UNITE SOTREFIT DE TIARET. 2020. Mémoire de Master. Université Ibn Khaldoun de Tiaret, Faculté des Sciences Appliquées, Département de Génie Mécanique, Spécialité: Maintenance Industrielle.
- [16]. Aggoune, F. (2010). Évaluation de l'endommagement des tubes dans leurs conditions d'exploitation [Mémoire de magister, Université Mentouri Constantine]. République Algérienne Démocratique et Populaire, Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique.

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Université de Ghardaïa
Faculté des Sciences
et de la technologie



جامعة غرداية
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم: الآلية والكهروميكانيك

غرداية في : 01/09/2020

شعبة : الكهروميكانيك
تخصص : ميكانيك

شهادة ترخيص بالتصحيح والاياداع:

انا الاستاذ(ة)
بصفتي المشرف المسؤول عن تصحيح مذكرة تخرج (ليسانس/ماستر/دكتورا) المعنونة ب:

Etude de la FMD de la machine à powder

من انجاز الطالب (الطالبة):

.....

.....

التي نوقشت بتاريخ : 01/09/2020

اشهد ان الطالب/الطالبة قد قام /قاموا بالتعديلات والتصحيحات المطلوبة من طرف لجنة المناقشة وقد تم التحقق من ذلك من طرفنا وقد استوفت جميع الشروط المطلوبة.



امضاء المسؤول عن التصحيح

.....