

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 والكهروميكانيك
Département Automatique et électromécanique

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences et de la Technologie

Filière : Electromécanique

Spécialité : Maintenance industrielle

Thème

***Optimisation de la maintenance par la méthode AMDEC et FMD
d'une Grenailleuse intérieure***

Déposé le 21 / 06 / 2023

Par:

- KHENE AHMED AMINE

- BENABDALLAH ABDELHAMID

Devant le jury composé de :

Mr. BOUKHARI HAMED

MCB

Encadreur

Univ. Ghardaïa

Mr. MERZOUG HOCINE

MAA

Examineur

Univ. Ghardaïa

Mr. ZITANI BRAHIM

MAA

Examineur

Univ. Ghardaïa

Année universitaire : 2022/2023

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, nous remercions **DIEU** pour ce moment où nous nous tenons devant vous après les années difficiles qui nous ont passés.

Aujourd'hui nous avons récolté les fruits des années de diligence et de fatigue et sans oublier nous remercions les professeurs pour tous les précieux conseils et les informations qu'ils nous ont donnés et qui ont contribué à enrichir ce projet sous tous les aspects en particulier notre encadreur

Mr. BOUKHARI HAMED.

Nous tenons aussi à remercier le monsieur **YASSINE HANAY** ingénieur en maintenance pour sa disponibilité et ses conseils et aussi ses suivis qui nous aide pour comprendre beaucoup de choses à ce stage et pour obtenir les informations nécessaires pour la rédaction de mémoire.

Nous remercions également L'équipe **d'ALPHAPIPE GHARDAIA** pour leurs patiences avec nous qui permis d'effectuer notre projet de fin d'études et de continuer notre préparation de cette mémoire et tous ceux qui ont contribué au développement de ce modeste travail de près ou de loin.

DEDICACE

Il me fait un grand plaisir que je dédie ce modeste travail :
À ceux qui ont semé dans mon cœur les graines de l'amour de la science et de la poursuite du succès et m'ont soutenu tout au long de mon parcours scientifique, mes chers parents.

À ceux qui ont allumé les bougies de l'espoir dans les moments sombres de ma carrière, mes chères sœurs, leurs époux et leurs enfants.

À ma famille qui est heureuse de ma réussite ainsi que ma fiancée, en particulier mon oncle qui se tenait près de moi pendant ce parcours éducatif.

À ceux qui m'ont aidé et soutenu de près ou de loin, mes chers amis.

À ceux qui ont eu un rôle important en m'aidant et en me fournissant de nombreuses informations, mes chers professeurs.

AHMED AMINE

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail à :

*En premier lieu à ma mère et à mon père qui ont consenti
Beaucoup de sacrifices pour me permettre de réaliser mes
Objectifs. Qu'ils trouvent ici toute ma reconnaissance et ma
Gratitude.*

A mes frères et mes sœurs

A tous mes camarades et mes amis

A tous mes enseignants de puis le primaire jusqu'

Maintenant.

B.ABDELHAMID

Résumé

La maintenance industrielle prend une importance croissante et se révèle être une des fonctions clé de l'entreprise de production moderne pour augmenter les performances de leur appareils et machines au but d'améliorer leur production et répondre aux besoins du marché et des clients.

Le but de cette étude est d'attirer l'attention sur la machine (grenailleuse intérieure) et d'examiner son efficacité opérationnelle à travers la méthode AMDEC et d'analyse FMD (Fiabilité et Maintenabilité et Disponibilité) et la valorisation des valeurs et l'interprétation des courbes à travers les paramètres de weibull (β, η, γ) préalablement.

Enfin pour améliorer la fiabilité de cette machine, il est indispensable de posséder une stratégie de maintenance préventive au moins pour quelques organes responsables de beaucoup des arrêts.

Les mots clés :

, FMD, AMDEC, Pareto,

ملخص

أصبحت الصيانة الصناعية ذات أهمية متزايدة وأثبتت أنها إحدى الوظائف الرئيسية لمؤسسة الإنتاج الحديثة لزيادة أداء معداتها وآلاتها من أجل تحسين إنتاجها وتلبية احتياجات السوق والعملاء.

الغرض من هذه الدراسة هو تسليط الضوء على آلة (Grenailleuse intérieure) وفحص أدائها الوظيفي باستخدام تحليل (AMDEC) و (FMD) للدراسة التجريبية (الموثوقية، وقابلية الصيانة، والتوافر) وتقدير القيم وتفسير المنحنيات من خلال اعدادات weibull (γ, η, β) مسبقاً.

أخيراً، لتحسين موثوقية هذا الجهاز، من الضروري أن يكون لديك استراتيجية صيانة وقائية، على الأقل لبعض الأجهزة المسؤولة عن التوقف.

الكلمات المفتاحية: الموثوقية، قابلية الصيانة، التوافر، AMDEC,

Abstract

Industrial maintenance is becoming increasingly important and is proving to be one of the key functions of the modern production company to increase the performance of their devices and machines in order to improve their production and meet the needs of the market and customers.

The objective of this study consists in highlighting the Indoor Shot Blasting machine in order to evaluate its performance of function using the AMDEC method and FMD analysis (Reliability and Maintainability and Availability) and the valuation of the values and the interpretation curves through the weibull parameters (β, η, γ) beforehand.

Finally, to improve the reliability of this machine, it is essential to have a preventive maintenance strategist at least for a few components responsible for many shutdowns.

Key words:

Blasting Internal, AMDEC, FMD, Pareto, ALFAPIPE

Table des matières

<u>REMERCIEMENTS</u>	I
<u>DEDICACE</u>	II
<u>RESUME</u>	IV
<u>TABLE DES MATIERES</u>	V
<u>Liste des tableaux</u>	VII
<u>Liste des figures</u>	VIII
<u>Liste des symboles</u>	X
<u>INTRODUCTION GENERALE:</u>	1
<u>CHAPITRE I : PRESENTATION DE L'ENTREPRISE ALFA PAIPE</u>	
<u>I.1. INTRODUCTION :</u>	3
<u>I.2. PRESENTATIONS DE L'UNITE :</u>	3
<u>I.3. ORGANIGRAMME DE L'USINE :</u>	6
<u>I.4. LES NORMES DE FABRICATION DE TUBE :</u>	6
<u>I.5. CERTIFICATIONS :</u>	7
<u>I.6. LA MACHINE A SOUDE EN SPIRALE :</u>	8
<u>I.7. LE CONTROLE QUALITE:</u>	12
<u>I.8. PROCESSUS DE REVETEMENT :</u>	14
<u>I.9. SCHEMA SYNOPTIQUE DE LA PROCEDURE DE FABRICATION DES TUBES :</u>	15
<u>I.10. Conclusion :</u>	15
<u>CHAPITRE II : LA MAINTENANCE ET LEUR METHODES UTILISE (FMD/ AMDEC)</u>	
<u>II.1. INTRODUCTION :</u>	16
<u>II.2. DEFINITION DE LA MAINTENANCE :</u>	16
<u>II.3. OBJECTIFS DE LA MAINTENANCE :</u>	16
<u>II.4. LES TYPES DE MAINTENANCE :</u>	16
<u>II.5. LA MAINTENANCE AMELIORATIVE :</u>	19
<u>II.6. LES FONCTIONS DE LA MAINTENANCE :</u>	19
<u>II.7. OPERATIONS DE LA MAINTENANCE PREVENTIVE:</u>	20
<u>II.8. NIVEAUX DE MAINTENANCE :</u>	20
<u>II.9. LES TEMPS DE LA MAINTENANCE :</u>	21
<u>II.10. FIABILITE, MAINTENABILITE, DISPONIBILITE(FMD) DU SYSTEME :</u>	22
<u>II.11. AMDEC :</u>	34

<u>CHAPITRE III : GENERALITE SUR MACHINE BANC D’ESSAI HYDROSTATIQUE</u>	
<u>III.1. INTRODUCTION :</u>	38
<u>III.2. DEFINITION DE LA MACHINE :</u>	38
<u>III.3. SPECIFICATIONS TECHNIQUES :</u>	40
<u>III.4. PRINCIPE DE BASE DE FONCTIONNEMENT :</u>	43
<u>III.5. GRENAILLEUSE INTERIEURE :</u>	44
<u>III.6. FILTRS DEPOUSSIERS :</u>	47
<u>CHAPITRE IV : ETUDE DE MAINTENANCE FMD ET AMDEC DE LA MACHINE</u>	
<u>IV.1. INTRODUCTION :</u>	49
<u>IV.2. HISTORIQUE DES PANNES:</u>	49
<u>IV.3. APPLICATION PRATIQUE DES METHODES D’ANALYSE :</u>	52
<u>IV.4. CALCUL DES PARAMETRES DE WEIBULL :</u>	54
<u>IV.5. LA METHODE DES MOINDRES CARRES :</u>	56
<u>IV.6. EXPLOITATION DES PARAMETRES DE WEIBULL :</u>	57
<u>IV.7. ÉTUDE DE MODELE DE WEIBULL :</u>	58
<u>IV.8. LA FIABILITE:</u>	63
<u>IV.9. LA MAINTENABILITE :</u>	68
<u>IV.10. LA DISPONIBILITE :</u>	70
<u>IV.11. ANALYSE DE RISQUE :</u>	73
<u>IV.12. ANALYSE AMDEC :</u>	74
<u>IV.13. LA HIERARCHISATIO (CLASSEMENT PAR CRITICITE) :</u>	77
<u>IV.14. Recommandations :</u>	78
<u>IV.15. Conclusion :</u>	79
<u>CONCLUSION GENERALE</u>	80
<u>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :</u>	81
<u>ANNEXES</u>	83

Liste des tableaux

Tableau IV. 1. Historique De La Machine Grenailleuse Intérieur	49
Tableau IV. 2. L'analyse ABC (Pareto).....	52
Tableau IV. 3. La Fonction de réparation réelle.....	54
Tableau IV. 4. La fonction de la densité de probabilité	58
Tableau IV. 5. Fonction de répartition	61
Tableau IV. 6. La fiabilité	63
Tableau IV. 7. Le taux de défaillance.....	66
Tableau IV. 8. La Maintenabilité	69
Tableau IV. 9. Tableau de disponibilité instantané	73
Tableau IV. 10. Indice de fréquence F	73
Tableau IV. 11. Indice de gravité G	73
Tableau IV. 12. Indice de non-détection D	73
Tableau IV. 13. L'Analyse AMDEC	74
Tableau IV. 14. Classe de criticité	77
Tableau IV. 15. Classement décroissant par priorité	77
Tableau IV. 16. Plan de maintenance préventive	79
Tableau IV. 17. Annex	83

Liste des figures

LES FIGEUR DE CHAPITRE I

FIG I. 1. Situation géographique d'ALFAPIPE GHARDAIA	3
FIG I. 2. Organigramme de l'usine	6
FIG I. 3. Certificat.	7
FIG I. 4. Les bandes en aciers.....	8
FIG I. 5. Élément de préparation des bobines	9
FIG I. 6. Couper les longuette de fin de bande.....	9
FIG I. 7. Tube préparé à la machine soudée en spirale.....	11
FIG I. 8. Contrôle visuel par des agentes professionnelles Examen ultra-sons	12
FIG I. 9. Tube à l'examen ultra-sons	13
FIG I. 10. Contrôle de la soudure par radioscopie	13
FIG I. 11. Revêtement extérieur	14
FIG I. 12. Revêtement intérieur.....	14
FIG I. 13. Les procédures de fabrication des tubes	15

LES FIGEUR DE CHAPITRE II

FIG II. 1. Les différents types de maintenance	17
FIG II. 2. Les Fonctions Du Service Maintenance (Norme FD X 60-000). [6].....	19
FIG II. 3. Temps caractéristiques d'une intervention	21
FIG II. 4. Courbe en baignoire	23
FIG II. 5. Axes de papier de weibull	26
FIG II. 7. Papier de Weibull	26
FIG II. 8. Composants en série	28
FIG II. 9. Composants en parallèle	29
FIG II. 10. Les composantes de la disponibilité d'un équipement	30
FIG II. 11. La relation entre les notions FMD	34

LES FIGEUR DE CHAPITRE III

FIG III. 1. La machine Grenailleuse Intérieure.....	39
FIG III. 2. Vue de dessus de la grenailleuse intérieure [17].....	43
FIG III. 3. Vue de face de l'unité de grenailage intérieur [17]	45
FIG III. 4. Vue de côté de l'unité de grenailage intérieur [17]	46
FIG III. 5. La lance et Turbine de grenailage	46
FIG III. 6. Principe de fonctionnement du filtre dépoussiéreur du tamis [17]	47
FIG III. 7. Filtre dépoussiéreur principal de la grenailleuse intérieur [17]	48

LES FIGEUR DE CHAPITRE IV

FIG IV. 1. La Courbe d'ABC	53
FIG IV. 2. Papier de weibull	56
FIG IV. 3. page de calcul on Excel	57
FIG IV. 4. La Courbe Densité De Probabilité.....	60
FIG IV. 5. La Courbe De Fonction Répartition.....	63
FIG IV. 6. La Courbe De la Fonction Fiabilité	65
FIG IV. 7. Le courbe taux de défaillance.....	68
FIG IV. 8. La Courbe de Maintenabilité	70
FIG IV. 9. La Courbe Disponibilité instantanée	72

Liste des symboles

FMD:

- **F** : Fiabilité
- **M** : Maintenabilité
- **D** : Disponibilité

TTR : Temps de réparation

TBF : Temps de bon fonctionnement

UT : Up Time

MTTR : Moyenne de temps de réparation

MTBF : Moyenne de Temps de bon fonctionnement

F(i) : La fréquence relative.

R(t) : Fiabilité.

f(t) : Densité de probabilité.

F(t) : Fonction de répartition.

λ (t) : Taux de défaillance.

M(t) : Maintenabilité.

μ (t) : Taux de réparation.

D (t) : Disponibilité instantanée.

Di : Disponibilité intrinsèque à l'asymptotique.

β : Paramètre de forme

γ : Paramètre de position

η : Paramètre d'échelle

AMDEC : Analyse des Modes des Défaillance de leurs Effets et de leur Criticité

Introduction Générale

L'industrie joue un rôle important dans la mise en mouvement de la roue du développement dans le monde, car la plupart des industries ont besoin de sources d'énergie de base comme le gaz et le pétrole, Il nécessite l'extraction et transport des sources d'énergie qui se présentent sous forme des fluides vers des pipes spéciaux.

Parmi les entreprises algériennes spécialisées dans la fabrication de pipes, on retrouve ALFAPIPE L'entreprise en qui appartient au groupe IMETAL, spécialisé dans les industries métallurgiques et sidérurgiques. Elle est actuellement considérée comme le leader du marché algérien en matière de production et de vente de tubes en acier soudés en hélicoïdale, principalement destinés aux secteurs du transport des hydrocarbures et de l'hydraulique [1].

Les installations, les équipements tendent à se détériorer dans le temps sous l'action de causes multiples telles que usures, déformations dues au fonctionnement, et ou action des agents corrosifs (agents chimiques, atmosphères,), dans tous les cas, les détériorations engendrent des coûts directs ou indirects supplémentaires. Maintenir c'est donc effectuer des opérations de dépannage, graissage, visite, réparation, amélioration etc. qui permettent de conserver le potentiel du matériel pour assurer la continuité et la qualité de la production bien maintenir c'est aussi assurer les opérations au coût global optimum. [1]

Afin d'augmenter les ventes et d'améliorer leur qualité, il est désormais nécessaire d'offrir aux exploitants une maintenance de qualité qui garantisse un mode d'intervention rapide, une détection et un diagnostic des défaillances, ainsi qu'une installation de conduite améliorée, le tout permettant d'atteindre une production optimale.

Alors, Dans notre travail, nous étudierons de la machine (grenailleuse intérieure) afin d'optimiser sa maintenance à l'aide de la méthode FMD et AMDEC, cette étude se base sur l'historique d'exploitation identifié par ALFAPIPE.

Enfin, dans ce contexte et dans le cadre de ce travail, nous avons divisé le mémoire en quatre Chapitre :

Chapitre I: Pendant les 30 jours de formation que nous avons fait à **ALFA PIPE -Ghardaïa-** nous avons pu découvrir l'entreprise.et nous avons obtenu d'excellentes informations pour un véritable système de production (système de transport, stockage, processus de fabrication, laboratoires, instrumentation, matériaux divers).

Chapitre II : Au cours de ce chapitre, nous avons fourni un aperçu complet des concepts d'AMDEC et de (FMD) maintenance, de fiabilité, de maintenance, de disponibilité

- Fiabilité = ne pas avoir de défaillance.
- Maintenabilité = être rapidement dépanné.
- Disponibilité = être en état d'accomplir sa fonction.

Chapitre III : généralité sur la machine grenailleuse intérieure

Chapitre IV : Nous avons pris l'historique des défauts de l'appareil sur une période de 3 ans (2021/2022/2023) Et nous avons fait une étude analytique par l'utilisation De la méthode FMD (Fiabilité et Maintenabilité et Disponibilité) et AMDEC.

Chapitre I :

Présentation de l'entreprise

ALFA PIPE

Chapitre I : présentation de l'entreprise ALFA PIPE

I.1. Introduction :

Nos travaux ont été réalisés sur l'équipement de production de tubes soudés en spirale de la société ALFA PIPE GHARDAIA. L'entreprise que nous avons choisie est située dans la zone industrielle de Bounoura, à 10 km de Wilaya, la capitale de la GHARDAIA. L'usine s'étend sur une superficie de 23 000 m² et emploie en moyenne 500 personnes. L'entreprise est spécialisée dans la production et la vente de tubes spiralés soudés utilisés dans la construction de pipelines (gaz et pétrole), d'infrastructures d'utilité publique et de transport d'eau.

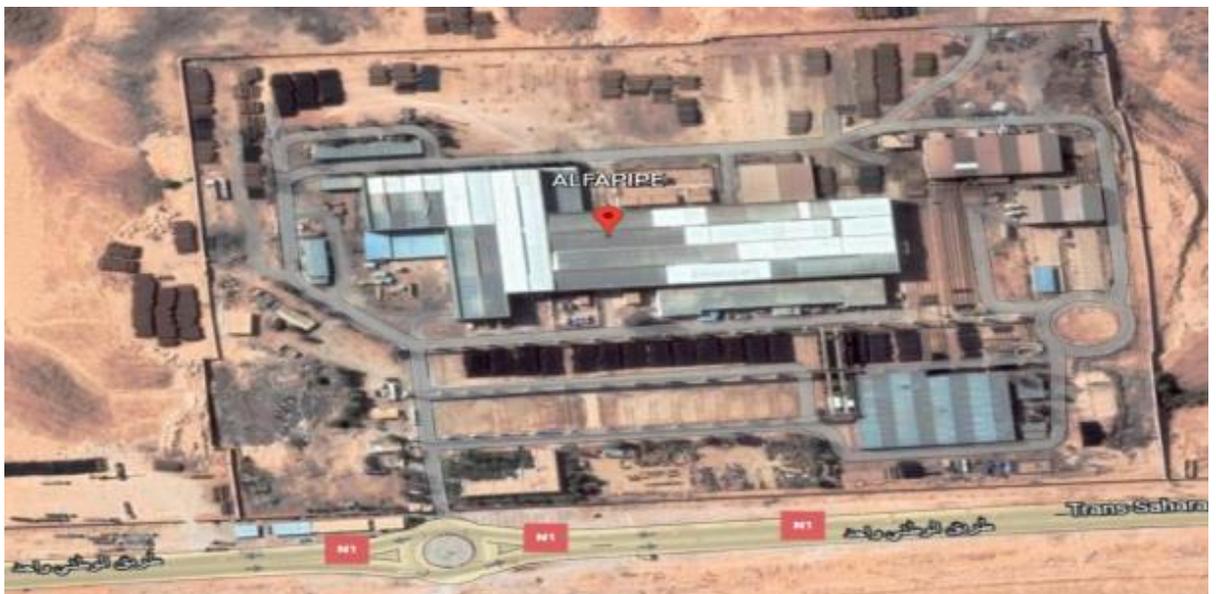


FIG I.1. Situation géographique d'ALFA PIPE GHARDAIA.

I.2. Présentations de l'unité :

I.2.1. Historique :

Des puits de pétrole et de gaz sont situés près de Hassi R'mel et Hassi Messaoud, et l'usine de tubes spiralés d'El-Hadjar (Annaba) ne peut à elle seule répondre aux besoins importants de SONATRACH en matière de transport d'hydrocarbures. Il a donc été décidé de construire une deuxième unité similaire à la première.

Chapitre I : présentation de l'entreprise ALFA PAIPE

La construction a été lancée en avril 1974 par une entreprise allemande et la production a commencé en 1977 avec une capacité annuelle de 120 000 tonnes, ce qui équivaut à 375 km de tuyaux de 42 pouces de diamètre. [2]

Les machines installées dans l'usine peuvent produire des tuyaux de 16 à 64 pouces de diamètre, de 7,92 à 15 mm d'épaisseur et de 7 à 13 m de longueur.

Les bobines sont transportées par voie ferrée d'Annaba à Touggourt, où elles sont stockées dans un entrepôt d'une capacité de 40.000 tonnes et transportées par camion SNTR jusqu'à GHARDAIA (350 km). Ce transport est parfois effectué pour éliminer les goulots d'étranglement qui entravent la production. [2]

I.2.2. Développement de tus Ghardaïa :

En 1974 c'était la mise en chantier de SNS (société nationale de sidérurgie) à Ghardaïa. Et la mise en service de l'unité de production c'était qu'après deux ans, d'une capacité de 125000 t/ans ; l'équivalent de 375 km.

Pour améliorer ces produits ; en 1992 la SNS a fait une extension et à la démarrer les deux unités de revêtement ; intérieure et extérieure. Après cette extension elle a été capable de fabriquer les tubes gazoduc et oléoduc.

Après la restructuration des entreprises elle a devenu SNTPP (la société National de Traitement des Produits Plats) du groupe ANABIB, et direction Alger. En 2001 elle a devenu PIPE GAZ filiale ANABIB, et en 2006 elle a devenu TUS Ghardaïa, la jumelle de TUS Annaba filiales de ALFAPIPE.

Jusqu'à 1999 toutes les unités ont été commandées par les technologies câblées. Après ils ont automatisé l'unité de production et celle de revêtement extérieur.

Et en 2003 ils ont renouvelé les automates des quatre machines à soudées. [2]

I.2.3. Domaine d'activité :

ALFAPIPE transforme des bobines et des produits plats en tubes spiralés pour le transport de pétrole, de gaz, d'eau et d'autres liquides à haute pression.

Pipeline:

- Gazoducs
- Oléoducs

Hydraulique:

- Assainissement
- Drainage
- Transport de l'eau
- Approvisionnement en eau potable
- Infrastructure Hydraulique
- Soutien aux puits

I.2.4. Les équipements :

La production de tubes à enroulement en spirale exigeant des travailleurs qualifiés et un équipement Complete, ALFA PIPE dispose des machines suivantes : [2]

- Machine de préparation des bobines
- Quatre machines à souder (considérées comme des machines anciennes)
- Nouvelle machine à souder
- 2 machines de nettoyage de tubes
- Deux zones de reprise à la source
- Équipement d'oxycoupage
- Contrôles des rayons X et de la radiographie
- Équipement de freinage Chan
- Banc d'essai hydrostatique
- Machine de grenailage externe
- Installations de revêtement de façades
- Sablage interne
- Installation de revêtement intérieur
- Convoyeurs pour le transport des tuyaux
- Ponts roulants pour différents poids (15T, 34T).

I.3. Organigramme de l'usine :

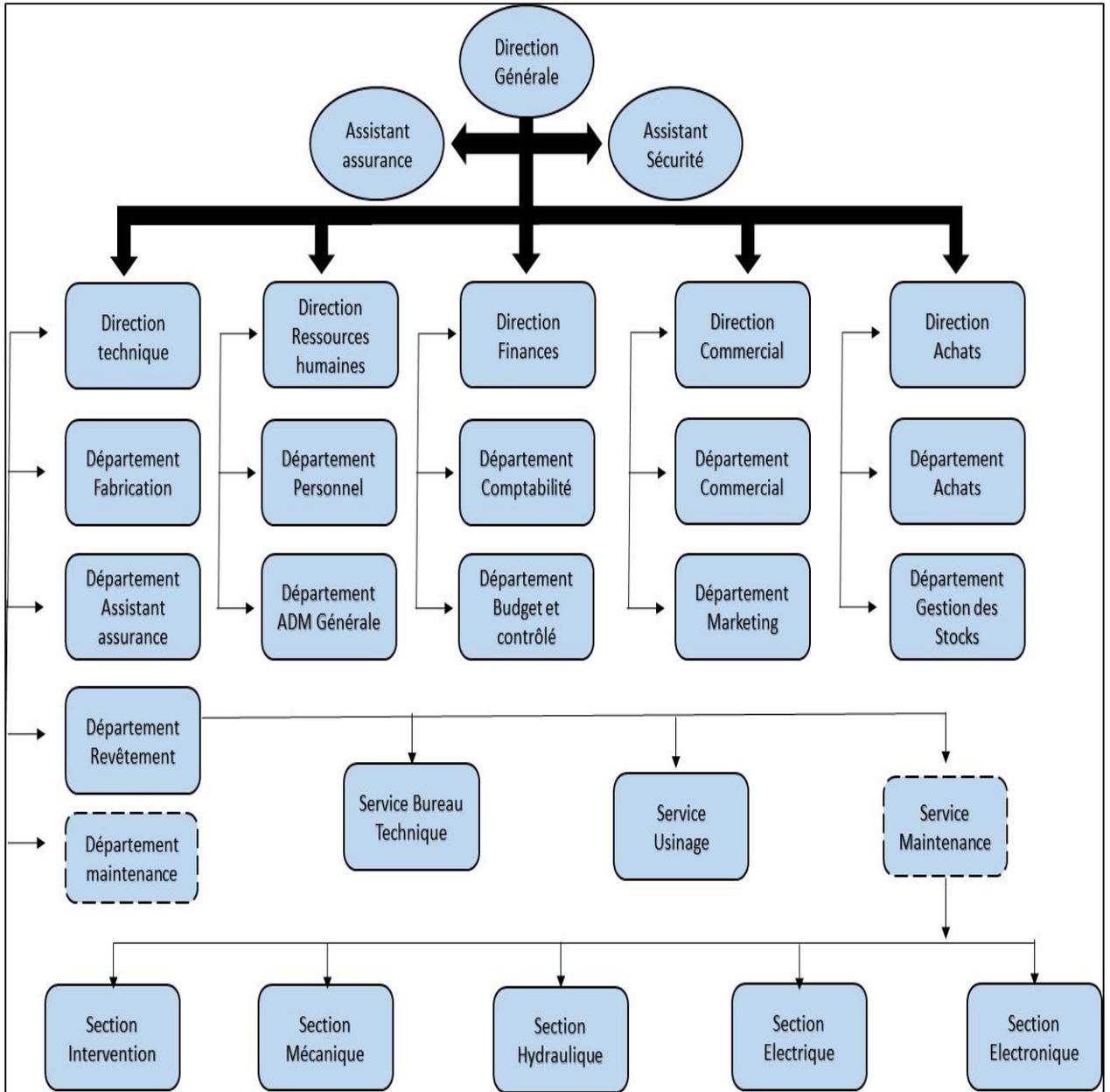


FIG. I. 2 Organigramme de l'usine

I.4. Les normes de fabrication de tube :

Tous les tuyaux doivent être rigoureusement testés conformément aux normes API, sauf en cas de déviations ou d'exigences spéciales spécifiées dans la présente spécification et/ou sur le bon de commande.

- **API : American Petroleum Institute Standards**
 - ✓ API 5L : spécification for line Pipe, 44ème édition
 - ✓ API Q1 : spécification for qualité programs.

Chapitre I : présentation de l'entreprise ALFA PAIPE

- **ASME : American Society for Mechanical Engineers**
 - ✓ ASME Partie C : Spécification pour baguettes d'apport, électrodes et métaux d'apport.
- **ASNT : American Society for Non-Destructive Testing ASNT**
 - ✓ SNT-TC-1A, Pratiques Recommandées pour la Qualification et la Certification du Personnel du Contrôle Non Destructif. [2]

I.5. Certifications :

QUALIFICATIONS :

ALFAPIPE Tuberie de Ghardaïa est certifiée API Q1 et ISO 9001 depuis le 02 janvier 2001.
Le tube fabriqué par ALFAPIPE Tuberie de Ghardaïa est certifié API 5L.



N°API-0213







N° TS-0314



N° 5L-0403



N° Q1-0499



REGISTRATION NO. TS-0314

Certificate of Registration

The American Petroleum Institute certifies that the quality management system of

ALFAPIPE-TUBERIE DE GHARDAIA
Zone Industrielle de Bounoura
Ghardaia
Algeria

has been assessed by the American Petroleum Institute and found to be in compliance with the following:

ISO/TS 29001

The scope of this registration and the approved quality management system applies to the:

Manufacture and Coating of Line Pipe

API approves the organization's justification for excluding

Section 7.3, Design and Development



Effective Date: July 14, 2008
Expiration Date: July 14, 2011
Registered Since: June 11, 2007

W. Dan Whitaker
Manager of Operations, APIQI

This certificate is valid for the product specified herein. The registered organization must continually meet all requirements of ISO/TS 29001, Petroleum, Refineries and Industrial Gas Industry Sector Specific Quality Management Systems, and the requirements of the Registration Agreement. Registration is contingent and requires maintenance through annual surveillance system audits. This certificate has been issued from API's office located at 12201, Spring, TX, 77481-4070, U.S.A. It is the property of API, and must be returned upon request. To verify the authenticity of this certificate, go to www.api.org/verifycertificate.

REGISTRATION NO. Q1-0499

Certificate of Registration

The American Petroleum Institute certifies that the quality management system of

ALFAPIPE-TUBERIE DE GHARDAIA
Zone Industrielle de Bounoura
Ghardaia
Algeria

has been assessed by the American Petroleum Institute and found to be in conformance with the following:

API Specification Q1

The scope of this registration and the approved quality management system applies to the:

Manufacture and Coating of Line Pipe

API approves the organization's justification for excluding

Section 7.3, Design and Development



Effective Date: July 14, 2008
Expiration Date: July 14, 2011
Registered Since: June 11, 2007

W. Dan Whitaker
Manager of Operations, APIQI

This certificate is valid for the product specified herein. The registered organization must continually meet all requirements of API Spec Q1, Specification for Quality Requirements for the Petroleum, Refineries and Industrial Gas Industry, and the requirements of the Registration Agreement. Registration is contingent and requires maintenance through annual surveillance system audits. This certificate has been issued from API's office located at 12201, Spring, TX, 77481-4070, U.S.A. It is the property of API, and must be returned upon request. To verify the authenticity of this certificate, go to www.api.org/verifycertificate.

FIG I.3 Certificates

I.6. La machine à soudé en spirale :

a) Description :

Les machines à souder en spirale sont utilisées pour produire des tubes à partir de bandes de différentes largeurs et épaisseurs enroulées sur des bobines. La bande est enroulée en spirale et soudée intérieurement et extérieurement à l'aide de la méthode de soudage sous flux.



FIG.I.4. les bandes en aciers [3]

Ces éléments essentiels sont constitués par :

- ✓ Éléments de préparation des bobines (bandes) voir **FIG.I.4.**
- ✓ Éléments de formation des tubes.
- ✓ Élément de sortie du tube.
- ✓ Élément de réparation des bandes : il s'étend du dérouleur au rouleau d'entraînement. Dans cette zone, la bobine est tirée autour de la machine et passe par différentes étapes de traitement. Une rogneuse circulaire redresse, oriente et rogne les deux côtés de la bobine, en éliminant les bords de laminage et en garantissant une largeur de bande constante. Des outils de rabotage et des brosses de nettoyage sont ensuite utilisés pour préparer les bords à la soudure. [3]



FIG. I.5. élément de préparation des bobines [4]

Le redressement de la bobine pour obtenir une bobine sans fin fait également partie de la réparation de la courroie. Le processus est le suivant :

- Couper les extrémités de la bande.
- Aligner les bords.
- Souder et présenter.



FIG. I.6. couper les languette de fin de bande [5]

Chapitre I : présentation de l'entreprise ALFA PAIPE

Pendant cette phase d'usinage, le soudage des tuyaux est interrompu pendant une courte période. Tous les éléments de la section de préparation des bobines sont boulonnés au châssis de la machine. Le cadre de base est placé sur des rouleaux et tourne dans la position respective (angle d'entrée) en fonction de la largeur et du diamètre du tube.

Sur la cage de formage, la bande est formée en tubes selon le principe d'une cintreuse à rouleaux multiples. Les bords se rejoignant au niveau de la cage de formage sont d'abord soudés à l'intérieur, puis à l'extérieur, sur un cadre rotatif afin d'organiser la fusion de la soudure. Un support fixe de contrôle (dispositif de guidage des tubes), un support avec une barre transversale pour le système de soudage externe et le contrôle par ultrasons, ainsi qu'un dispositif d'abaissement des tubes sont montés sur le cadre.

C'est également à cet endroit que les sections de tuyaux sont coupées à la longueur voulue par des chariots de coupe mobiles.

Pendant le passage continu, les tuyaux coupés à la longueur requise sont abaissés sur le dispositif de transport (grille) et déchargés latéralement de la machine. [3]

b) Fonctionnement de la machine à souder en spirale :

- En fonction de la largeur de la bande selon l'échelle, le siège du support de la bobine se trouve dans la position requise en diagonale par rapport à la direction de déroulement de la bobine (bande).
- Le chariot d'enroulement se déplace vers l'avant, c'est-à-dire que les dispositifs de serrage se font face.
- La bobine est dans la machine, la bobine précédente a été utilisée et l'extrémité de la nouvelle bobine doit maintenant être soudée à l'extrémité de la bobine précédente.
- Machine à niveler avec guides de bande.
- Cisailles circulaires avec grattoirs.
- Supports de raclage avec outils de raclage des bords.
- Brosses de bord et de surface.
- Cage de formage, tête de soudage externe avec régulateur, stabilisateur de contrôle avec régulateur de distance de soudage, unité de contrôle à ultrasons, support de tube, chariot d'oxycoupage et dispositif de réduction du bruit pré réglé en fonction du diamètre du tube ou de l'angle d'inclinaison.

Chapitre I : présentation de l'entreprise ALFA PAIPE

- Le châssis de la machine est ajusté en fonction de l'angle d'entrée de la bande.
- Le panneau de contrôle 1 est réglé pour s'arrêter automatiquement.
- Les réservoirs de flux pour le soudage en spirale et en croix sont remplis.
- Les tambours de fil de soudure pour le soudage interne et externe et le rabotage de bandes sont équipés de bobines de panne de soudage. [2]

Le propane et l'oxygène sont raccordés à la raboteuse et au chariot de coupe du cadre, et la lampe témoin du chariot de coupe du cadre est allumée. L'air comprimé est connecté entre le racleur et la brosse de surface et au dispositif de soufflage devant les cisailles circulaires. Il en va de même pour le raccordement de l'eau de refroidissement du tuyau à l'unité de contrôle des ultrasons et l'eau de raccordement pour le refroidissement du support de soudage (soudage interne).

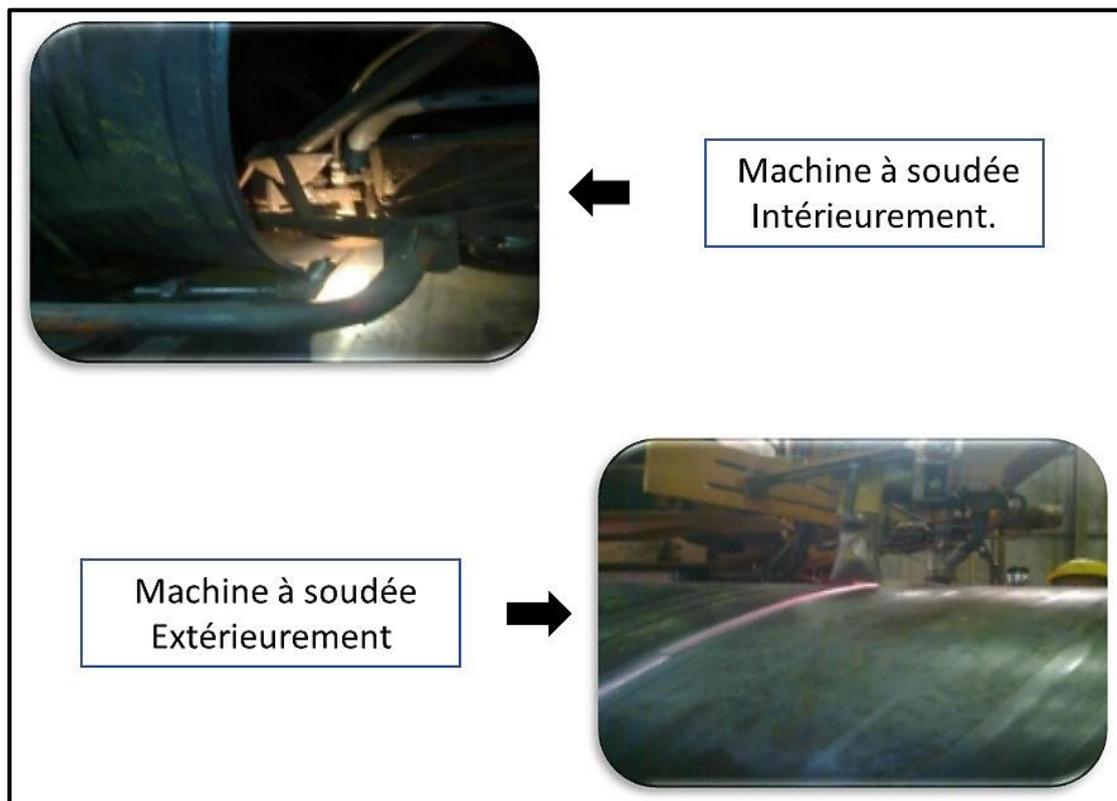


FIG.I.7. Tube préparé à la machine soudée en spirale

I.7. Le contrôle qualité :

Des contrôles et des tests stricts sont effectués à chaque étape du processus de production afin de garantir que le produit final présente les meilleures performances et répond aux normes internationales.

Les matières premières (acier) et les tuyaux sont soumis à deux types d'inspection :

I.7.1. Les contrôles destructifs :

Des essais de traction, de flexion, de dureté et d'impact sont réalisés sur des échantillons prélevés sur des bobines et des tuyaux. Ces essais sont réalisés conformément aux normes API 5L.

Des tests chimiques sont effectués pour déterminer les niveaux d'alliage de carbone, de soufre, de phosphore, de silicium, de manganèse, de niobium, de vanadium, de titane, etc.

Les essais destructifs sont réalisés dans des laboratoires mécaniques et chimiques.

I.7.2. Les contrôles non destructifs :

a) Contrôle visuel :

L'objectif est de permettre au personnel spécialisé de contrôler visuellement la qualité des soudures internes et externes. Si des défauts sont constatés, le tube est réparé avant que la production ne reprenne.



FIG.I.8. Contrôle visuel par des agentes professionnelles [4]

b) Examen ultra-sons :

Le contrôle interne de la qualité des soudures en spirale est effectué immédiatement après le soudage à l'aide d'un équipement automatisé. Deux types de contrôle par ultrasons sont utilisés le contrôle de la soudure et le contrôle et la détection du liner.



FIG.I.9. Tube à l'examen ultra-sons [5]

c) Radioscopie :

Ce système fonctionne au moyen d'un tube à faisceau porté par une tige d'acier qui tourne à l'intérieur du tube et transmet l'image à un écran. Les inspecteurs utilisent ce système à rayons X pour détecter les défauts précédemment signalés et même les causes non signalées, marquer l'emplacement exact du défaut et décider si le tube peut être envoyé pour une inspection finale, renvoyé pour réparation des soudures non réparables ou, dans le cas de doublons non réparables, envoyé au coupeur pour être découpé.



FIG.I.10. Contrôle de la soudure par radioscopie. [5]

I.8. Processus de revêtement :

I.8.1 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



FIG. I.11 Revêtement extérieur.

I.8.2 Processus de revêtement intérieur :

La procédure pour le revêtement interne est la suivante :

- Rincer les tuyaux comportant des zones huileuses ou graisseuses avec un jet d'eau chaude à haute pression.
- Séchage de tuyaux rincés ou mouillés à l'aide d'un brûleur à gaz.
- Décapage de l'acier pour éliminer le tartre et l'oxyde de fer.
- Revêtement par pulvérisation de tuyaux avec des pompes RS pour adoucir le flux et protéger les tuyaux de la corrosion, en particulier lorsqu'ils sont utilisés pour le transport de gaz et de liquides.



FIG.I.12. Revêtement intérieur. [4]

I.9. Schéma synoptique de la procédure de fabrication des tubes :

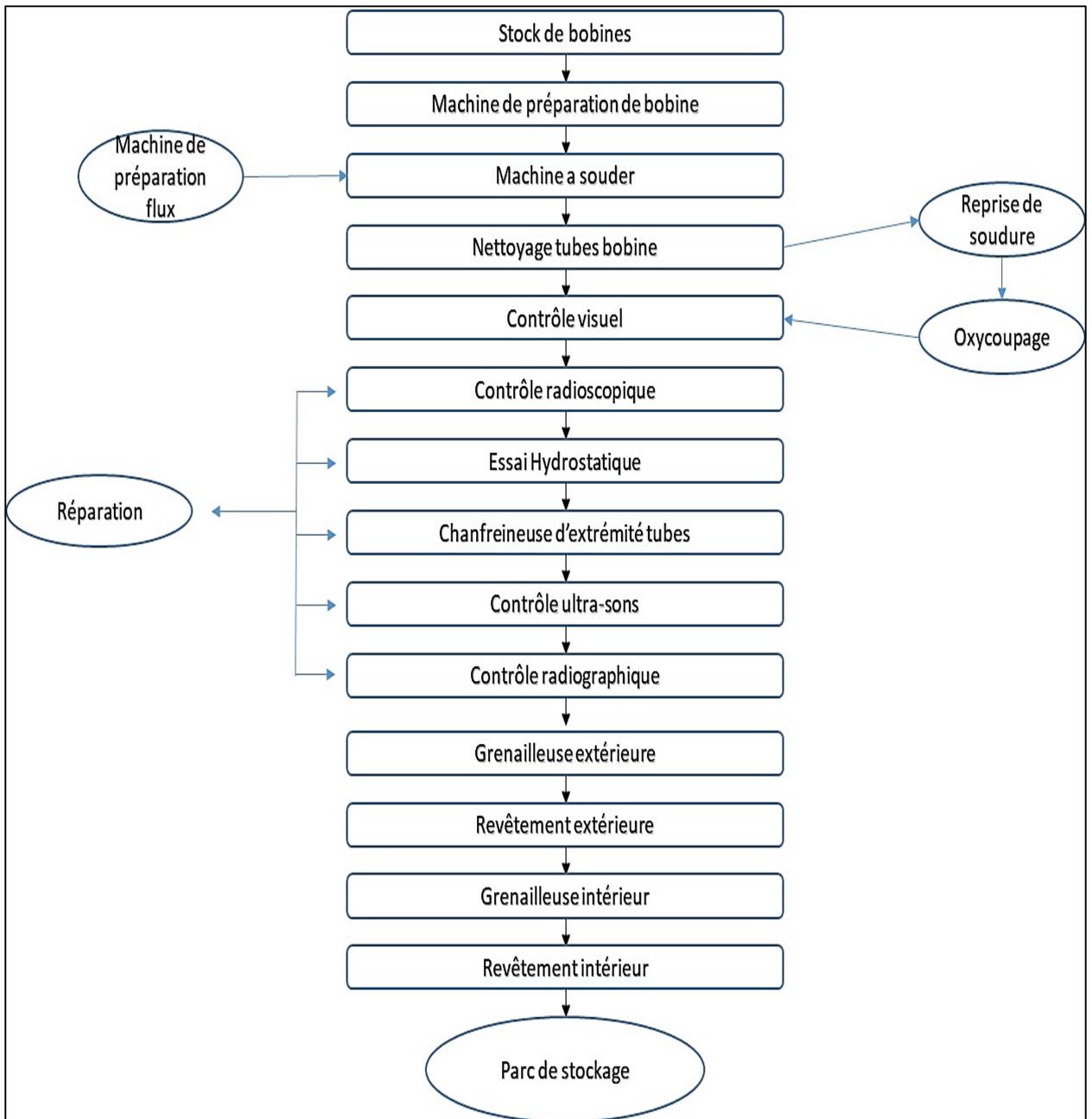


FIG.I.13 les procédures de fabrication des tubes.

I.10. Conclusion :

Au cours de ce chapitre, nous avons appris à comprendre l'entreprise et dérivé des informations précieuses pour un véritable système de production (système de transport, stockage, laboratoires, instrumentation, matériaux divers processus de fabrication).

Chapitre II :
La maintenance et ses
méthodes utilisées
(FMD/ AMDEC)

Chapitre II : La maintenance et ses méthodes utilisées (FMD/AMDEC)

II.1 Introduction :

Afin d'améliorer l'équipement et le système en général, il doit être soumis à la maintenance, et la maintenance comprend toutes les périodes de vie de la machine c'est une fonction cruciale au sein des entreprises, nécessitant l'utilisation de techniques précises. Son rôle dans la réalisation des objectifs de l'entreprise est considérable, en partie grâce aux avancées technologiques et à l'évolution de la conception de la gestion des entreprises.

Dans ce chapitre, nous détaillerons la définition de la maintenance, ses caractéristiques et ses méthodes (FMD et AMDEC).

II.2 Définition de la maintenance :

(Norme NF en 13306), Ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un système, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise.

La maintenance est l'ensemble des activités visant à assurer le bon fonctionnement et la pérennité des équipements, machines et installations d'une entreprise.

II.3 Objectifs de la maintenance :

- Augmenter la durée de vie des équipements.
- Diminuer les temps d'arrêt en cas de révision ou de panne.
- Assurer la qualité et la quantité des produits fabriqués, tout en respectant les délais.
- Atteindre les objectifs au meilleur coût total possible.
- Assurer le bon fonctionnement des matériels de productions d'une entreprise.
- Assurer la réalisation des niveaux de sécurité, et de fiabilité.

II.4 Les types de maintenance :

Avant d'entrer plus en détail dans les formes de maintenance, il est nécessaire d'en définir les différents aspects.

On distingue les types mentionnés dans le schéma suivant :

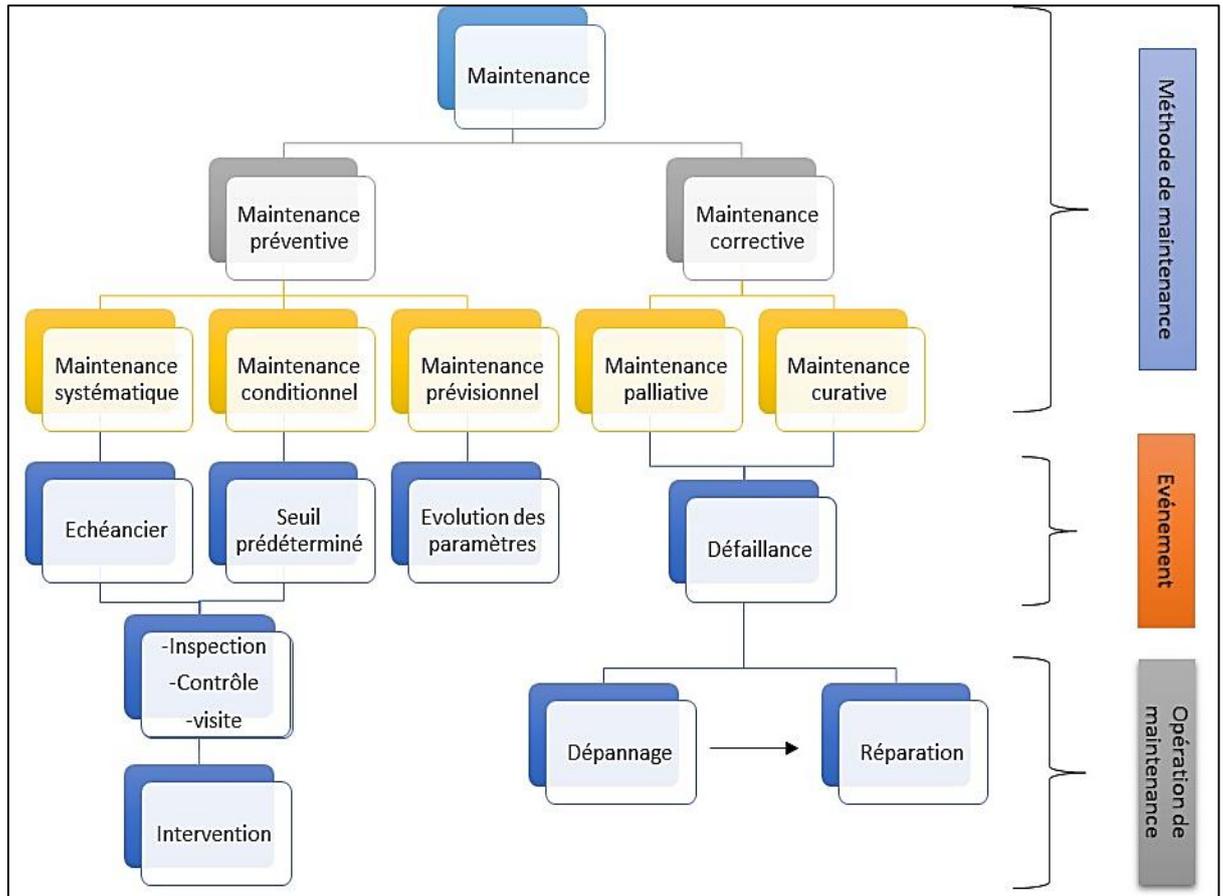


FIG.II.1 Les différents types de maintenance.

II.4.1. La maintenance préventive :

C'est l'ensemble des activités périodiques effectuées sur l'équipement afin d'éliminer ou de déceler des conditions menant à la détérioration de cet équipement. Cette politique de maintenance s'adresse aux éléments provoquant une perte de production ou des coûts d'arrêt imprévisibles classés comme importants pour l'entreprise. Ce sont les éléments appartenant à la catégorie A d'une courbe ABC (coût/nombre de panne). Il convient donc d'organiser un système de maintenance visant à minimiser ces arrêts tout en ne devenant pas trop onéreux. Ainsi on aura à pratiquer deux formes de maintenance (systématique et conditionnelle) dites préventives [6].

II.4.1.A. La maintenance systématique :

La maintenance systématique s'adresse à des éléments de la catégorie A et ne revenant pas trop cher en changement. C'est une maintenance planifiée selon une fréquence de temps fixe ou un

temps de fonctionnement déterminé. Son but est de maintenir le système dans l'état de ses performances initiales. Pour cela, il est procédé lors de ces interventions à différentes opérations qui peuvent être :

- Le remplacement (d'huile, des filtres, des pièces d'usure, des roulements, des joints d'étanchéité, des ressorts, etc...).
- Le réglage (des jeux de fonctionnement, des tensions de courroies, des pressions, etc...).
- Le contrôle (des divers blocages, des niveaux d'huile, etc...).
- Le remplacement (des éléments soumis à la fatigue, etc...).

II.4.1.B. La maintenance conditionnelle :

La maintenance préventive conditionnelle convient pour des matériels coûtant chers en remplacement et pouvant être surveillés par des méthodes non destructives.

Un démontage, un remplacement pouvant coûter cher en perte de production, en temps, Une idée de la maintenance préventive conditionnelle consiste à ne changer l'élément que lorsque celui-ci présente des signes de vieillissement. Ou d'usure mettant en danger ses performances. On s'appuie sur des mesures physiques qui sont :

- La mesure des vibrations.
- La mesure des températures.
- L'analyse des huiles.
- La mesure d'épaisseur. [6]

II.4.1.C. La maintenance prévisionnelle :

Est une méthode de maintenance qui vise à prévoir et à planifier les travaux de maintenance nécessaires avant qu'une défaillance ou une panne ne se produise.

Lorsque ces actions de maintenances sont opérées, les résultats post-maintenance peuvent différer suivant le type de maintenance réalisée. Les plus couramment utilisées sont les maintenances minimales et parfaites. Après, sont apparues les maintenances imparfaites pour modéliser un état intermédiaire. [7]

II.4.2. La maintenance corrective :

C'est la maintenance qui est effectuée après la découverte d'un défaut et vise à rétablir la fonction requise de l'élément

On peut distinguer deux types de maintenance corrective la maintenance palliative et la maintenance curative.

II.4.2.A. La maintenance palliative :

C'est la maintenance qui permet de remettre en état de fonctionnement un équipement de façon provisoire, Elle est effectuée dans des conditions extrêmes et imposée par l'une des situations suivantes :

- Un manque de pièce de rechange pour effectuer les travaux de réparation nécessaire.
- Des contraintes de production à satisfaire ne permettant pas d'avoir suffisamment de temps pour intervenir.
- Un manque de compétences capables d'exécuter les travaux

C'est une maintenance dans laquelle on tente seulement d'agir sur les effets sans se préoccuper des causes qui les produise. Par conséquent elle ne permet pas d'éviter une répétition de certains types de pannes. [7]

II.4.2.B. La maintenance curative :

Maintenance effectuée à la suite d'une défaillance d'un équipement. Elle conduit à des actions de diagnostic pour déterminer la cause du dysfonctionnement ou de la panne et définit les travaux de maintenance nécessaires pour remettre l'équipement dans un état normal.

II.5 La maintenance améliorative :

L'amélioration du capital est "un ensemble de mesures techniques, administratives et de gestion visant à améliorer la sécurité opérationnelle sans modifier la fonction requise d'un élément". Il s'agit de modifier la conception d'origine dans le but d'allonger la durée de vie des composants, de normaliser, de réduire la consommation d'énergie, d'améliorer la facilité d'entretien, etc. Il s'agit d'une information utile si une machine effectuant le même travail doit être produite avec une technologie plus récente. Ces informations sont utiles lorsqu'une machine effectuant le même travail doit être produite avec une technologie plus récente. Les mêmes problèmes ne se poseront pas. [8]

II.6 Les fonctions de la maintenance :

Les fonction de la Maintenance	Etude
	Préparation
	Ordonnancement
	Réalisation
	Gestion

FIG.II.2. Les Fonctions Du Service Maintenance (Norme FD X 60-000). [9]

II.7 Opérations de la maintenance préventive : [10]

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

Inspection : un contrôle de conformité effectué en mesurant, observant, testant ou calibrant les caractéristiques critiques d'un article. Ils ne nécessitent pas d'outillage spécialisé et permettent de détecter des anomalies ou d'effectuer des ajustements simples sans arrêter (c'est-à-dire sans démonter) la production ou l'équipement.

Contrôle : La conformité avec les données prédéfinies est vérifiée et une décision est prise. Ce contrôle peut conduire à une maintenance corrective ou inclure une décision de rejet, d'acceptation ou d'ajournement.

Visite : Des inspections détaillées et prédéterminées de tous (inspection générale) ou de certains (inspection limitée) des différents composants d'un bien peuvent inclure des travaux de maintenance de premier et de deuxième niveau et peuvent également conduire à une maintenance corrective.

Test : Comparaison de la réponse du système avec un système de référence ou un phénomène physique qui indique un fonctionnement correct.

Echange standard : Remplacer le composant ou le sous-ensemble défectueux par un composant ou un sous-ensemble identique, neuf ou remis à neuf, conformément aux instructions du fabricant.

Révision : Terme courant désignant une série d'inspections et de mesures visant à maintenir la disponibilité et le niveau de sécurité d'un bien.

II.8 Niveaux de maintenance : [11]

➤ **1^{er} Niveau** : Le premier niveau de maintenance consiste en des travaux simples sur les éléments essentiels au fonctionnement, totalement sûrs et facilement accessibles à l'aide de l'équipement de soutien intégré au bien. Il s'agit par exemple des réglages et des inspections nécessaires au fonctionnement, des travaux de maintenance préventive de base et du remplacement des consommables et des accessoires (fusibles, ampoules, etc.). Ces tâches peuvent être effectuées par l'opérateur du bien à l'aide de l'équipement de support installé sur le bien et en se référant aux instructions d'utilisation.

➤ **2^{ème} Niveau** : La deuxième étape de la maintenance concerne les actions qui nécessitent des procédures et des équipements de soutien simples (intégrés ou externes) et qui sont faciles à

Chapitre II : La maintenance et leur méthode utilisée (FMD/AMDEC)

utiliser et à mettre en œuvre. Il s'agit par exemple de contrôles de performance, de réglages spécifiques et de réparations par remplacement standardisé de sous-ensembles facilement remplaçables. Ce type d'entretien peut être effectué par du personnel autorisé en utilisant les procédures détaillées et les équipements de soutien définis dans les instructions d'entretien. Le travail à ce niveau implique le remplacement de pièces sans démontage de l'ensemble de l'équipement. Par conséquent, les travaux peuvent être effectués sur des unités individuelles ou pour contrôler les performances de l'équipement livré afin de vérifier les résultats.

➤ **3^{ème} Niveau:** Le troisième niveau concerne les opérations nécessitant des procédures complexes et/ou des équipements de soutien une manipulation ou une application complexe. Il s'agit par exemple de réglages généraux, de tâches d'entretien de systèmes de précision et de réparations par remplacement de pièces. Ces opérations nécessitent une approche globale du fonctionnement de l'équipement, c'est-à-dire que les différents éléments, leurs interactions et leurs cohérences doivent être pris en compte.

➤ **4^{ème} Niveau :** Le quatrième niveau concerne les tâches qui requièrent l'acquisition de compétences spécifiques ou l'utilisation d'équipements de soutien spécialisés. Il s'agit par exemple des réparations spécialisées et du contrôle des équipements de mesure.

➤ **5^{ème} Niveau :** Activités de rénovation ou de reconstruction impliquant un savoir-faire utilisant des techniques, des procédés et/ou des équipements de soutien industriel spécifiques.

II.9 LES TEMPS DE LA MAINTENANCE :

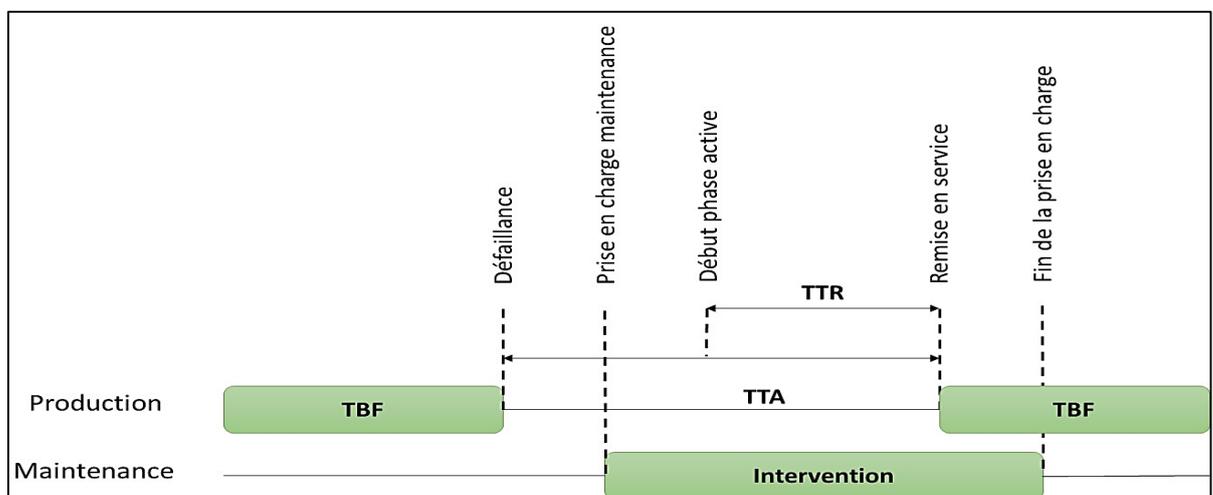


FIG.II.3. Temps caractéristiques d'une intervention.

II.9.1. La MTBF :

La MTBF est la valeur moyenne du temps entre deux pannes (TBF). Le temps de fonctionnement est le temps qui s'écoule entre deux pannes.

Remarque : En anglais, MTBF signifie mean time between failures (norme X60-500).

II.9.2. La MTTR :

La MTTR est le temps moyen de réparation technique (TTR).

Le TTR est le temps nécessaire pour intervenir physiquement sur un système défectueux. Il commence lorsque le système est pris en charge et subit des contrôles et des tests jusqu'à ce qu'il soit à nouveau prêt à l'emploi.

Remarque : En anglais, MTTR signifie mean time to restoration (norme X60-500)

II.9.3. La MTTA :

MTTA est le temps d'arrêt technique moyen (TTA).

Le temps d'arrêt technique est une partie du temps d'arrêt qu'un système de production peut subir pendant son fonctionnement. Il est causé par des raisons techniques et doit être distingué des interruptions spécifiques à la production (par exemple, les temps d'attente pour les pièces, les matériaux et l'énergie, les changements de production).[12]

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

II.10.1. Fiabilité :

II.10.1.A. Définition de la fiabilité :

Selon [AFNOR X60-500], la fiabilité est l'aptitude d'un système à accomplir une fonction donnée durant une période donnée et dans des conditions spécifiées d'exploitation. Les conditions sont toutes les contraintes externes, qu'elles soient d'origine humaine, climatique, physique.

II.10.1.B. Différents types de fiabilité :

- **La fiabilité prévisionnelle** : c'est celle qui est déterminée, durant la phase de conception, sur la base d'un modèle mathématique défini à partir des données de fiabilité de ses composantes.
- **La fiabilité estimée** : c'est la fiabilité mesurée après avoir conçu le système et ceci à l'aide d'un ensemble d'essais.
- **La fiabilité opérationnelle** : c'est la fiabilité mesurée sur un matériel en exploitation. Elle dépend des conditions réelles d'exploitations et du support logiciel. [13]

II.10.1.C. Les indicateurs de fiabilité :

- **Le taux de défaillance λ** : est définie mathématiquement par des calculs de probabilité. Elle peut également être exprimée en termes physiques. Le taux de variation de la fiabilité dans le temps est caractérisé. Un bon temps de fonctionnement est égal au temps d'utilisation total moins le temps d'indisponibilité.

$$\lambda = \frac{\text{nombre de défaillance pendant leservice}}{\text{durée totale de bon fonctionnement}} \quad (\text{II.1})$$

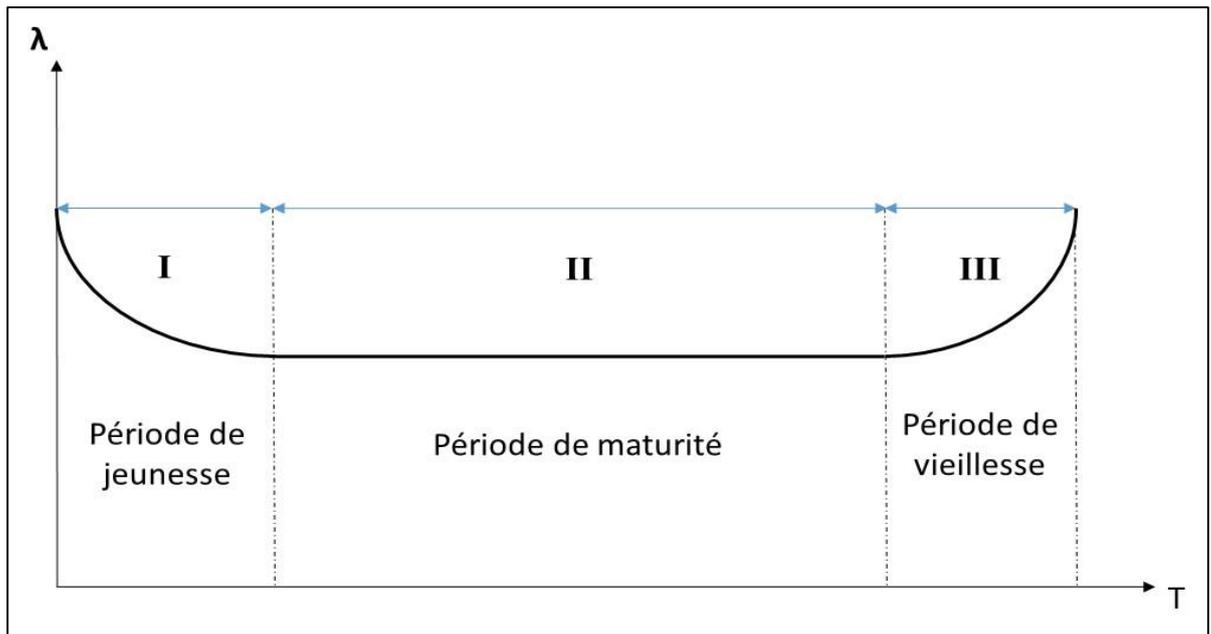


FIG.II.4. Courbe en baignoire

Zone I : période de jeunesse

Zone II : Période de maturation, fonctionnement normal et surveillance indépendante du temps.

Zone III : période d'obsolescence, pannes d'usure ou de vieillesse.

- **MTBF** : (Mean Time Between Failure) est souvent traduit par temps de fonctionnement moyen et représente le temps moyen entre deux pannes. En d'autres termes, t est la valeur attendue de la durée de vie t .

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

Physiquement le MTBF peut être exprimé par le rapport des temps

$$MTBF = \frac{\text{somme des temps de fonctionnement entre les } (n) \text{ défaillances}}{\text{nombre d'intervention de maintenance avec immobilisation}}$$

Si λ est constant

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (\text{II.3})$$

Par définition le MTBF est la durée de vie moyenne du système. [13]

- **MTTR :** (Temps Moyen de Réparation). Il s'agit d'une mesure utilisée pour évaluer le temps moyen nécessaire pour réparer un système ou un équipement après une panne. Le MTTR est une métrique courante utilisée dans la maintenance et l'ingénierie de la fiabilité pour évaluer l'efficacité du programme de maintenance et identifier les opportunités d'amélioration. Un faible MTTR indique que l'équipe de maintenance est en mesure d'identifier et de résoudre rapidement les problèmes, ce qui peut réduire les temps d'arrêt et améliorer la fiabilité globale du système.
- **N :** nombre de panne.

II.10.1.D. Les lois de fiabilité :

Dans les études de fiabilité de divers équipements, les variables aléatoires continues ou discrètes peuvent être distribuées selon diverses lois, notamment : [14]

a) La loi exponentielle :

Dans le domaine de la fiabilité des équipements électroniques, ce terme est le plus souvent utilisé pour décrire une période de temps pendant laquelle le taux de défaillance de l'équipement est considéré comme constant. Il décrit le temps écoulé avant qu'une défaillance ne se produise ou l'intervalle de temps entre deux défaillances consécutives.

b) La loi normale :

Il s'agit d'une loi continue à deux paramètres, la moyenne et l'écart-type, qui caractérise la variance autour de la moyenne. C'est la loi la plus ancienne et elle est utilisée pour expliquer l'incertitude des mesures et le phénomène de fatigue des pièces de machines.

c) La loi de POISSON ou loi de faibles probabilités :

L'occurrence d'événements aléatoires dans le temps est appelée processus de POISSON et caractérise une série de défaillances indépendantes les unes des autres et du temps.

Chapitre II : La maintenance et leur méthode utilisée (FMD/AMDEC)

La loi de POISSON est une loi discrète qui exprime la probabilité d'occurrence d'un événement lorsqu'il se produit de différentes manières mais avec une faible probabilité. Ses paramètres sont, en posant :

- Sa variance :
$$m = \lambda \times t \quad (\text{II.4})$$

- Sa fréquence :
$$\Pr [x = k] = \frac{m^k}{k!} e^{-m} \quad (\text{II.5})$$

- Sa fonction de répartition :
$$F(x) = \sum_{k=0}^x \frac{m^k}{k!} e^{-m} \quad (\text{II.6})$$

d) La loi de WEIBULL :

Il s'agit d'une loi continue à trois paramètres, ce qui la rend très flexible. En fonction de la valeur des paramètres, elle peut être utilisée pour toutes sortes de résultats expérimentaux. Cette loi a été choisie pour représenter la durée de vie d'un composant de machine. Pour l'utiliser, il suffit d'introduire les résultats du temps de fonctionnement entre deux pannes.[15]

La loi permet:

- Valeur estimée du MTBF.
- Calcul de $\lambda(t)$ et $R(t)$ et leur représentation graphique.
- Grâce au paramètre de forme β pour guider le diagnostic, car β peut être ?

Certains modes de défaillance.

Les 3 paramètres de cette loi sont :

Γ, η, β définissent la distribution de Weibull dans lequel:

- β : paramètre de forme ($\beta > 0$)
- η : paramètre échelle ($\eta > 0$)
- γ : paramètre de position ($-\infty > \gamma > +\infty$).

II.10.1.E. Détermination graphique des paramètres de la loi de Weibull :

Le tracé des courbes sur un papier spécial, appelé papier Weibull ou Allen Play, simplifie les calculs en permettant de tracer des lignes droites. [12]

a. Schématisation des axes :

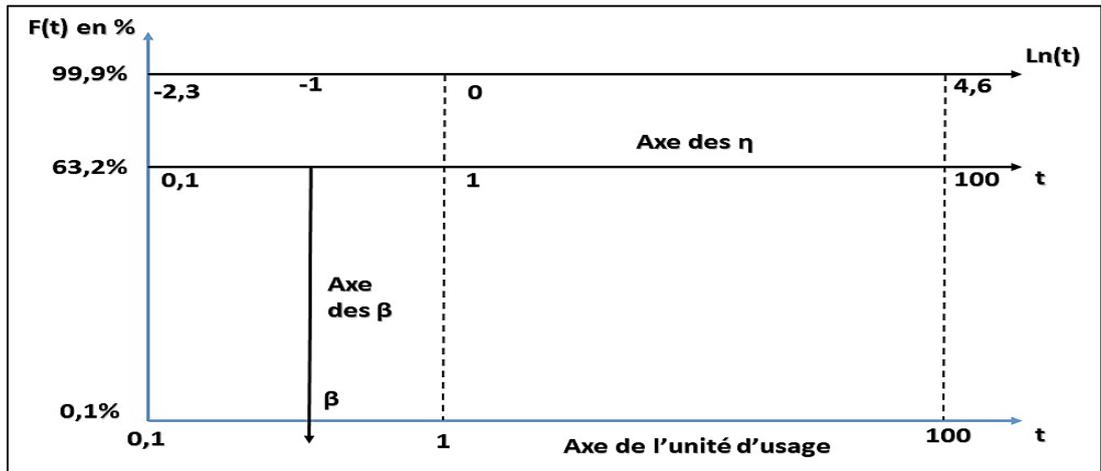


FIG.II.5. Axes de papier de weibull

b. Aspect du papier de Weibull :

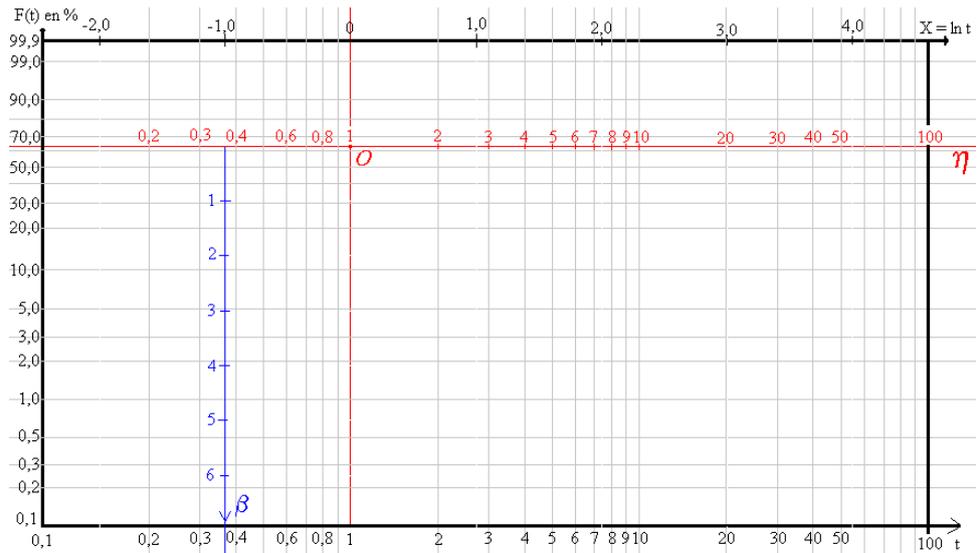


FIG.II.6. papier de Weibull

- A : Axe de t .
- B : axe de $F(t)$ (en %).
- a : $\text{Ln}(t)$.
- b : $\text{Ln}(\text{Ln}(1/[1-F(t)]))$.
- X et Y : permettent de déterminer béta ($Y = \text{béta} X$)

II.10.1.F. Préparation des données : [16]

- 1) Calcul des Temps de bon fonctionnement
- 2) Classement des temps de bon fonctionnement en ordre croissant
- 3) N = nombre de panne

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

On a 3 cas différents :

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

$$F(i) = \frac{Ni}{N} = \frac{\sum^R i}{N} \approx F(t) \quad (\text{II.7})$$

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

$$F(i) = \frac{Ni}{N+1} \approx F(t) \quad (\text{II.8})$$

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

$$F(i) = \frac{Ni-0.3}{N+0.4} \approx F(t). \quad (\text{II.9})$$

II.10.1.G. Diagramme de fiabilité :

Un diagramme de fiabilité (ou "diagramme de défaillance") est un graphique qui représente les différentes étapes dans le cycle de vie d'un produit ou d'un système, en mettant l'accent sur les défaillances qui peuvent survenir à chaque étape. Le diagramme est utilisé pour analyser la fiabilité et la sécurité d'un produit ou d'un système, et pour identifier les points faibles qui pourraient causer des défaillances.

Le diagramme de fiabilité est souvent représenté sous la forme d'un graphique en arbre, avec des branches qui représentent les différentes étapes dans le cycle de vie du produit ou du système. Les nœuds du graphique représentent les différentes étapes du processus, et les branches représentent les différentes options ou possibilités qui peuvent se produire à chaque étape.

Les nœuds sont étiquetés avec des informations sur les probabilités de défaillance, les temps moyens entre les défaillances, les temps de réparation, les coûts associés aux défaillances, etc. En utilisant ces informations, les analystes peuvent évaluer la fiabilité et la sécurité du produit ou du système dans son ensemble, et identifier les zones qui nécessitent une attention particulière.

II.10.1.H. Fiabilité de système constitué de plusieurs composants : [13]

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.

$$R_s = R_a \times R_b \times R_c \times \dots R_n \quad (\text{II.10})$$

Si les "n" composants sont identiques avec une même fiabilité R la formule sera la suivante :

$$R_s = R^n \quad (\text{II.11})$$

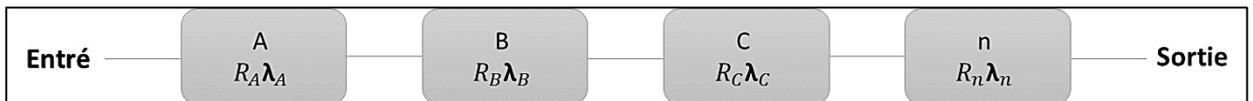


FIG.II.7. Composants en série.

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

$$R(s) = (e^{-\lambda_a t}) \times (e^{-\lambda_b t}) \times (e^{-\lambda_c t}) \times \dots \dots (e^{-\lambda_n t}) \quad (\text{II.12})$$

$$\text{Avec : } MTBF(s) = \frac{1}{\lambda_a + \lambda_b + \lambda_c + \dots + \lambda_n} \quad (\text{II.13})$$

Si en plus, les composants sont identiques : $\lambda_a + \lambda_b + \lambda_c + \dots + \lambda_n$

Alors :

$$R(s) = (e^{-\lambda n t}) \quad \text{et} \quad MTBF = \frac{1}{n \times \lambda} \quad (\text{II.14})$$

En parallèle : La fiabilité d'un système peut être augmentée en plaçant les composants en parallèle. Un dispositif constitué de n composants en parallèle ne peut tomber en panne que si les n composants tombent en panne au même moment. Si F_i est la probabilité de panne d'un composant, la fiabilité associée R_i est son complémentaire :

$$F_i = 1 - R_i \quad (\text{II.15})$$

F_i représentant la fiabilité associée.

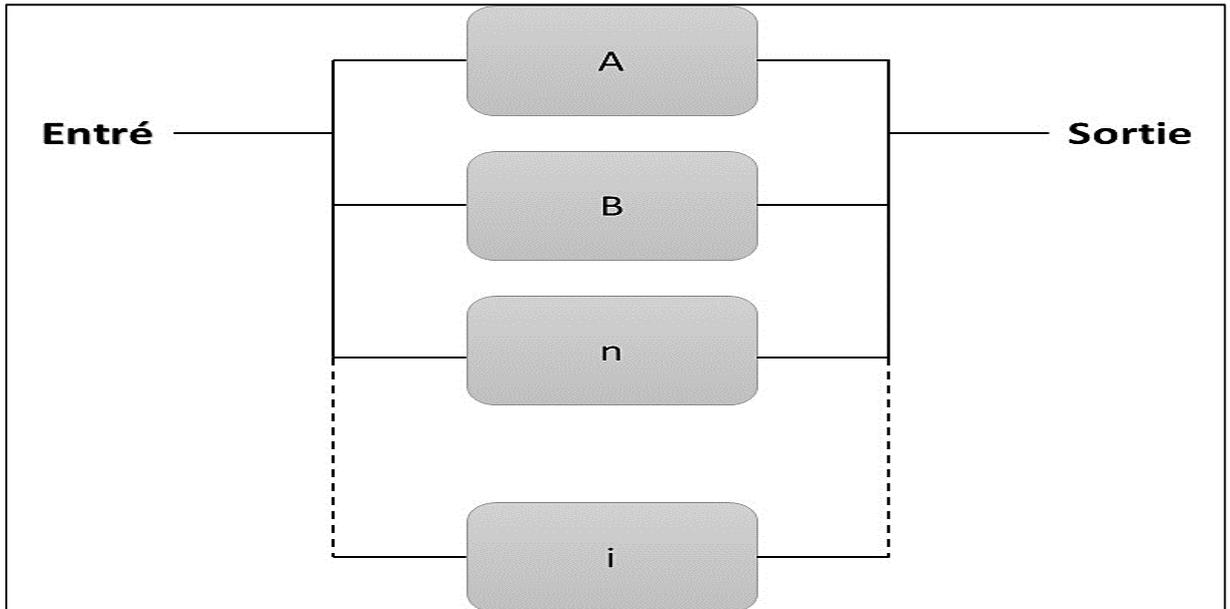


FIG.II.8. Composants en parallèle.

Soit les “n” composants de la figure ci-dessous montés en parallèle. Si la probabilité de panne pour chaque composant repéré (i) est notée F_i alors :

$$R(s) = 1 - (1 - R)^n \quad (\text{II.16})$$

Le cas particulier de deux dispositifs en parallèle si λ est constant RS est obtenu par :

$$R(s) = 1 - (1 - Ra)(1 - Rb) = Ra + Rb - RaRb = e^{-\lambda_a t} + e^{-\lambda_b t} - e^{-(\lambda_a + \lambda_b)t} \quad (\text{II.17})$$

II.10.2. Maintenabilité :

II.10.2.A. Définition de la maintenabilité :

La maintenabilité est la mesure de la facilité avec laquelle un système peut être maintenu, réparé ou modifié. Elle fait référence à la capacité d'un système à être maintenu en bon état de fonctionnement tout au long de sa durée de vie, avec un minimum de temps et de coûts requis pour effectuer des tâches de maintenance. Une bonne maintenabilité peut être atteinte grâce à une conception et à une planification appropriée, ainsi qu'à l'utilisation de normes et de bonnes pratiques de maintenance. Les systèmes qui sont faciles à maintenir sont souvent préférés car ils réduisent les temps d'arrêt et les coûts de maintenance, tout en améliorant la fiabilité et la durée de vie du système.

Maintenabilité = être rapidement dépanné

$$MTTR = \frac{\Sigma \text{Temp d'intervention } n \text{ pannes}}{\text{Nombre de pannes}} \quad (\text{II.18})$$

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

II.10.2.B. Temps Techniques de Réparation TTR :

- La TTR d'un travail est généralement constituée de la somme des temps suivants :
 - Temps d'accès aux composants défectueux (démontage ou retrait).
 - Temps de remplacement ou de réparation
 - Temps de réunification
 - Temps nécessaire pour vérifier si le défaut est réel (il peut s'agir d'une fausse alerte).
 - Temps de diagnostic.
 - Temps d'inspection ou d'essai.
- Les temps morts suivants doivent être exclus de la RTT :
 - Temps d'attente dû à l'indisponibilité de techniciens, d'outils ou de pièces de rechange.
 - Les arrêts de travail, etc.

Si le temps mort est supérieur à la TTR, l'organisation et la gestion de la maintenance doivent être revues.

II.10.2.C. Maintenabilité et maintenance :

La maintenabilité fait référence à la capacité d'un équipement ou d'un système à être maintenu ou réparé lorsqu'un besoin de maintenance apparaît. La maintenabilité est donc une caractéristique intrinsèque de l'équipement qui peut être améliorée lors de la conception et de la fabrication.

La maintenance, quant à elle, est l'ensemble des actions visant à maintenir ou à restaurer un équipement ou un système dans un état de fonctionnement optimal. La maintenance peut inclure des activités telles que la réparation, le remplacement de pièces, la lubrification, le nettoyage, l'inspection et la surveillance.

En somme, la maintenabilité est une caractéristique de l'équipement qui facilite la maintenance, alors que la maintenance est l'ensemble des actions nécessaires pour maintenir l'équipement en bon état de fonctionnement.

II.10.2.D. Maintenabilité et disponibilité :

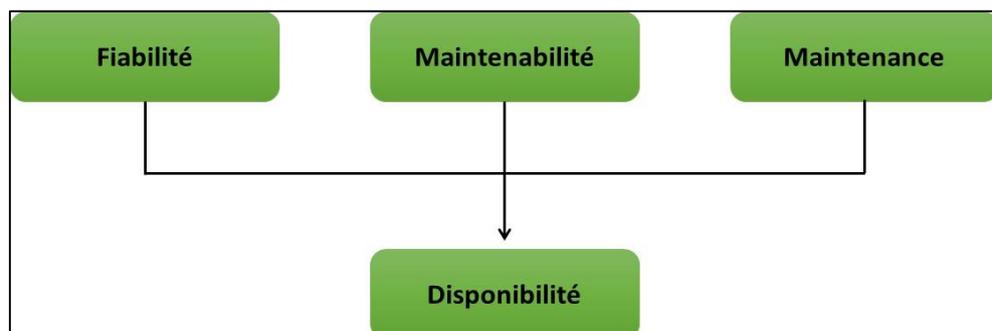


FIG.II.9. Les composantes de la disponibilité d'un équipement

Chapitre II : La maintenance et leur méthode utilisée (FMD/AMDEC)

Le schéma ci-dessus rappelle les composantes de la disponibilité d'un équipement. Il met en évidence :

- Que la maintenabilité est un des leviers d'action pour améliorer la disponibilité et donc la productivité d'un équipement.
- Que la fiabilité et la maintenabilité sont 2 notions parallèles de même importance (et dont les démarches d'analyse sont semblables).

II.10.2.E. Les indicateurs de maintenabilité : [17]

1) Fonction de maintenabilité d'un dispositif :

C'est une fonction non décroissante de t , elle est donnée par :

$$M(t)^1 = P(\text{la maintenance de } E \text{ est achevée au temps } t).$$

2) Le taux de réparation d'un dispositif $\mu(t)$:

C'est la densité de probabilité pour qu'il soit remis en service entre les instants t et $t + dt$ sachant qu'il 'était en panne 'à l' instant t .

D'où

$$\mu(t) = - \frac{1}{1-M(t)} \frac{dM(t)}{d(t)} = \frac{g(t)}{1-M(t)} \quad (\text{II.19})$$

Avec :

$$g(t) = \frac{dM(t)}{d(t)} \quad (\text{II.20})$$

$g(t)$ est la densité de probabilité de réparation, elle est généralement ajustée par une distribution exponentielle ou log-normale.

3) Moyenne des temps de réparation :

Une fonction importante souvent utilisée dans les 'études de maintenabilité est le temps de réparation (MTTR) ou le temps moyen d'arrêt. Le MTTR est la valeur prévue de temps de réparation.

$$MTTR = \int_0^{\infty} t g(t) d(t) = \int_0^{\infty} [1 - M(t)]^2 dt \quad (\text{II.21})$$

II.10.3. La disponibilité :

II.10.3.A. Définition de disponibilité :

La disponibilité dans la maintenance fait référence à la capacité d'un équipement ou d'un système à être utilisé pendant une période donnée, généralement exprimée en pourcentage. En d'autres termes, il s'agit du temps pendant lequel un équipement est disponible et peut être utilisé pour sa fonction prévue.

La disponibilité est un indicateur clé de performance pour les équipements et les systèmes, car elle mesure l'efficacité de la maintenance et la capacité d'un équipement à fonctionner de manière fiable. Une disponibilité élevée signifie que l'équipement est disponible pour une utilisation plus longue, ce qui peut se traduire par une augmentation de la production et des bénéfices.

II.10.3.B. Les types de disponibilité :

Pour qu'un appareil ait une bonne ergonomie, il doit :

- Le moins d'arrêts de production possible.
- En cas de panne, il peut être rapidement remis en bon état.

Par conséquent, la disponibilité relie les concepts de fiabilité et de maintenabilité.

La disponibilité se présente sous trois formes :

a) Disponibilité asymptotique :

Lorsque λ et μ sont indépendants des temps et quand (t) devient grand, on constate que D (t) tend vers une valeur constante. Cette valeur est souvent dénommée disponibilité asymptotique et se note A_{∞} elle est égale à :

$$A_{\infty} = \frac{\mu}{\mu + \lambda} \quad (\text{II.22})$$

Avec :

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} \quad \text{et} \quad \mu = \frac{1}{MTTR} \quad (\text{II.23})$$

b) Disponibilité intrinsèque théorique :

Cette disponibilité est évaluée en prenant en compte les moyennes des temps de bon fonctionnement et les moyennes de réparations, ce qui donne : $Di = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$ (II.24)

Chapitre II : La maintenance et leur méthode utilisée (FMD/AMDEC)

MTBF : moyenne des temps de bon fonctionnement (Mean Time Between Failure).

MTTR : moyenne des temps d'immobilisation pour intervention de maintenance (Mean Time To Repaire).

D'où :

$$MTBF = \frac{TCBF}{Nc} \quad \text{et} \quad MTTR = \frac{\Sigma TR}{Nc} \quad (\text{II.25})$$

Avec :

TCBF : Temps cumulé de bon fonctionnement.

Nc : Nombre d'interventions de maintenance avec immobilisation.

Remarque : Cette disponibilité correspond à des conditions idéales, c'est-à-dire avec un support logistique parfait.

c) Disponibilité moyenne :

La disponibilité moyenne sur un intervalle de temps donné peut-être évalué par les rapports Suivants :

$$Dm = \frac{TCBF}{MCBF+TCI} \quad (\text{II.26})$$

TCI : Temps cumulé d'immobilisation

Remarque : Le temps cumulé d'immobilisation comprend les temps d'intervention et les temps Logistiques.

d) Disponibilité opérationnelle :

Pour cette mesure, sont pris en compte les temps logistiques, ce qui donne :

$$Do = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR+MTL} \quad (\text{II.27})$$

Avec :

MTL : moyenne des temps logistiques.

II.10.4. La relation entre les notions FMD :

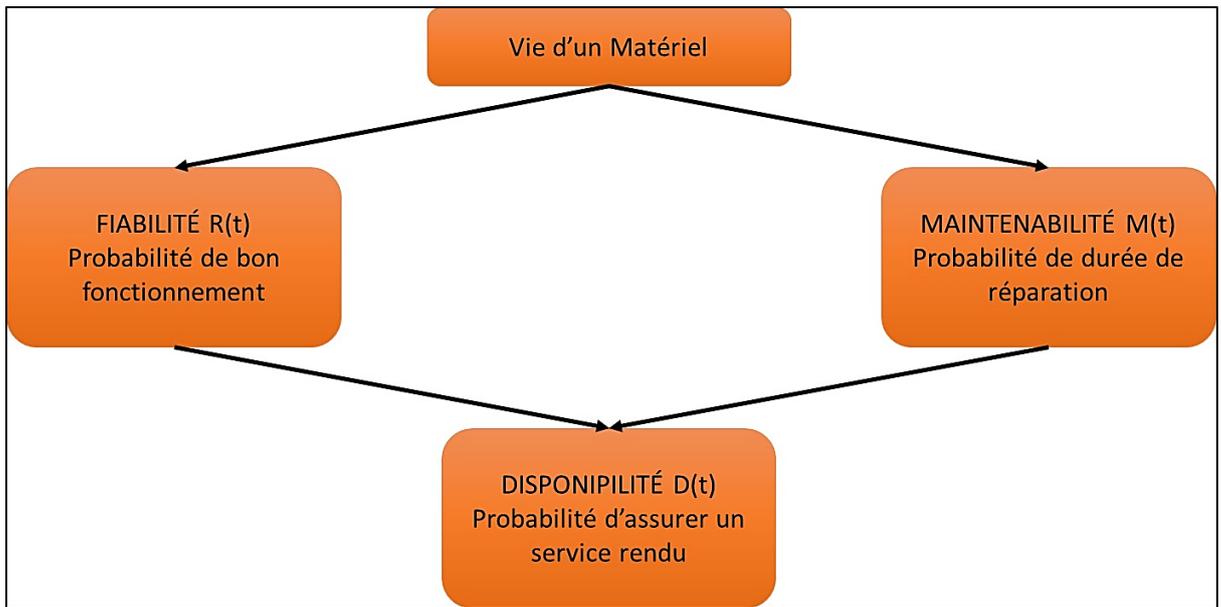


FIG.II.10. La relation entre les notions FMD

II.11 AMDEC :

II.11.1. Définition de l'AMDEC :

Les approches telles que l'inspection et le contrôle des produits et la maîtrise statistique des processus sont insuffisantes pour résoudre, prévenir ou éviter les problèmes susceptibles de survenir ultérieurement dans les différents systèmes de processus d'entreprise d'une société. Un outil et une méthode simples et très efficaces pour la prévention des problèmes potentiels est la méthode AMDEC (analyse des modes de défaillance et de leurs effets). L'objectif de cette méthode est d'étudier, d'identifier, de prévenir ou au moins de réduire le risque de défaillance d'un système, d'un processus ou d'un produit.

L'Association française de normalisation (Afnor) définit l'AMDEC comme "une méthode inductive d'analyse qualitative et quantitative de la fiabilité ou de la sécurité des systèmes". La méthode consiste en un examen systématique des défaillances potentielles du système (analyse des modes de défaillance), de leurs causes et de leur impact sur le fonctionnement global du système (conséquences). Une fois les défaillances potentielles classées par ordre de priorité, des mesures prioritaires sont mises en œuvre et suivies en fonction du niveau de risque estimé (gravité) de la défaillance. [18]

II.11.2. Objectifs de l'AMDEC :

L'AMDEC est une technique qui conduit à un examen critique de la conception pour :

- Evaluer l'impact des défaillances
- Déterminer la criticité des défaillances
- Mettre en place des actions préventives
- Identifier les modes de défaillance potentiels
- Améliorer la qualité et la fiabilité
- Réduire les coûts et augmenter l'efficacité.

II.11.3. Les avantages de l'AMDEC :

- Identification précoce des problèmes
- Réduction des coûts
- Augmentation de la satisfaction des clients
- Meilleure prise de décision
- Classer les défauts selon des critères spécifiques

II.11.4. Types d'AMDEC :

En fonction de leur objectif, différents types d'AMDEC sont utilisés dans les phases successives du développement d'un produit : [19]

1) AMDEC produit :

Veiller à ce que la conception du produit (par exemple, dispositifs, sous-ensembles automobiles, produits chimiques) réponde aux exigences du client.

2) AMDEC processus :

- S'assurer que chaque étape de la fabrication du produit ne générera pas de défauts de Qualité
- Les sorties de l'étude sont :
 - Modes opératoires de fabrication
 - Plan de contrôle

3) AMDEC machine :

- Veiller à ce que les équipements et les machines fonctionnent avec une disponibilité maximale.
- Les sorties de l'étude sont :
 - ❖ Instructions d'utilisation et d'entretien
 - ❖ Formation du personnel (production et maintenance)
 - ❖ Politique d'entretien et de pièces de rechange
 - ❖ Modifications visant à améliorer la fiabilité ou la maintenabilité
- Le présent document concerne essentiellement l'AMDEC Moyen.

II.11.5. Démarche pratique de l'AMDEC :

L'AMDEC crée un cadre qui doit être complété et équipé. Cela nécessite une analyse plus approfondie de la pertinence des informations ; le groupe AMDEC doit maîtriser la machine, mettre à jour et valider toutes les informations utiles à l'étude. Le groupe peut obtenir un retour d'information de tous les opérateurs dans tous les départements du cycle de production du produit, ce qui peut ajouter de la valeur à l'analyse. [16]

La démarche pratique de l'AMDEC se décompose en 4 étapes suivantes :

Etape 1 : Initiation de l'étude (comprenant les éléments suivants)

- ❖ Description de la machine à analyser,
- ❖ Description des phases de fonctionnement,
- ❖ Définition des objectifs à atteindre,
- ❖ Constitution des groupes de travail,
- ❖ Définition du programme de la réunion,
- ❖ Améliorer l'assistance aux entreprises.

Etape 2 : Description fonctionnelle de la machine comprenant les éléments suivants :

- ❖ Démontage de la machine et détermination des opérations à effectuer.
- ❖ Inventaire des fonctions de service.
- ❖ Inventaire des fonctions techniques.

Etape 3 : analyse AMDEC qui consiste :

- ❖ Analyse des mécanismes de défaillances,
- ❖ Evaluation de la criticité à travers :
 - Probabilité d'occurrence F.
 - Gravité des conséquences G.
 - Probabilité de ne pas être détecté D.

Etape 4 : Résumé des évaluations et des décisions :

- ❖ Évaluation de l'étude.
- ❖ Décision des actions à engager.

II.12 Conclusion :

Au cours de ce chapitre, nous avons fourni un aperçu complet des concepts de l'AMDEC et (FMD) la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité.

- Fiabilité = ne pas avoir de défaillance.
- Maintenabilité = être rapidement dépanné.
- Disponibilité = être en état d'accomplir sa fonction.

Chapitre III :
Généralité sur La machine
Grenailleuse Intérieure

Chapitre III : Généralité sur La machine grenailleuse intérieure

III.1 Introduction :

La Grenailleuse intérieure est un équipement industriel utilisé pour nettoyer et préparer la surface intérieure des pièces métalliques en vue d'une application de revêtement époxy. Cette machine utilise des billes d'acier projetées à haute vitesse pour éliminer la rouille, la peinture, les contaminants et autres impuretés de la surface de la pièce métallique.

Le processus de grenailleuse intérieure est important pour garantir une adhérence optimale du revêtement époxy sur la surface de la pièce. En effet, une surface mal préparée peut entraîner une adhérence insuffisante, une usure prématurée du revêtement et une diminution de la durabilité de la pièce.

La grenailleuse intérieure est utilisée dans diverses industries telles que l'automobile, la construction navale, l'aérospatiale et la fabrication de tuyaux. Elle est disponible dans différentes tailles et configurations pour s'adapter aux besoins spécifiques de chaque application.

Dans ce chapitre, nous parlerons d'une machine grenailleuse intérieure des pipes fabriquées par entreprise Selmers (Projet 448 Alfa pipe Algérie).

III.2 Définition de la machine :

Une grenailleuse intérieure est un outil utilisé pour le nettoyage et la préparation de surfaces internes, comme les tuyaux, les chambres, les réservoirs, les échangeurs de chaleur, etc... Elle est équipée d'une turbine qui projette des billes métalliques à haute vitesse sur la surface à nettoyer, en utilisant une pression ou un flux d'air comprimé. Cela enlève les dépôts de rouille, de corrosion et d'autres matériaux indésirables, laissant une surface propre et prête à être peinte ou protégée.

La grenailleuse intérieure est souvent utilisée dans les industries mécaniques, de la construction navale, de l'énergie, de l'aérospatiale et de l'automobile.



FIG III.1. La machine Grenailleuse Intérieure. [20]

III.2.1. Données de la machine grenailleuse intérieure :

Fabriqué par :	Selmers BV Biesland 3 1948 RJ BEVERWIJK The Netherlands
Conçu pour :	Alfa pipe / Tuberie De Ghardaïa BP 78, Zone Industrielle BOUNOURA 47000 GHARDAIA ALGÉRIE
Année de fabrication :	2014

III.3 Spécifications techniques :

III.3.1. Dimensions des tubes en acier : [20]

Gamme de diamètres des tubes :	Longueur des tubes :	Épaisseurs nominales de paroi :
Lance A : 85/8" à 16" (219 - 406 mm)	Minimum : 7 mètres	Minimum : 7,92 mm
Lance B : 18" à 30" (457 - 762 mm)	Maximum : 16 mètres	Maximum : 25,4 mm
Lance C : 32" à 80" (813 - 2032 mm)		

III.3.2. Spécifications de tubes traités :

Qualité tubes selon normes	API Q1
Nuance acier maximale	X-80
Cordon de soudure	3 mm max pour les tubes en hélice
Extrémités des tubes	Traitement mécanique, avec extrémité lisse ou chanfrein de soudage, ou les deux extrémités sont chanfreinées de 30° ou 35°, selon API Q1

III.3.3. Tolérances sur tubes :

Les dimensions, poids et longueurs des tubes à traiter doivent se conformer aux exigences de la Section 6, Dimensions, Poids et Longueurs des spécifications API 5L.

- **Rectitude** : La courbure des tubes ne doit pas excéder 1.5 mm par 1 mètre de longueur de tube. La courbure totale ne doit pas excéder 1% du diamètre du tube.
- **Ovalisation** : L'ovalisation des tubes ne doit pas excéder + / - 1% du diamètre nominale.
- **Cordons de soudures** : Les soudures doivent avoir une forme régulière avec une transition adoucie vers le corps du tube, et surtout pas de parties coupantes. La surépaisseur des cordons de soudure ne doit pas excéder les valeurs suivantes :

- ✓ Pour épaisseur jusqu'à 8 mm : max. 2.5 mm
- ✓ Pour épaisseur de 8 jusqu'à 14 mm : max. 3 mm
- ✓ Pour épaisseur plus de 14 mm : max. 4 mm

III.3.4. Etat de la surface de tubes :

Les nouveaux tubes, après être amené depuis l'unité de fabrication ou d'un éventuel stockage en plein air, sont livrés pour l'opération de revêtement.

La surface extérieure et intérieure des tubes amenés à l'atelier de traitement de surface et de revêtement peut avoir été contaminée par la rouille, la calamine ou autres (en quantité normale). Toutes matières organiques ou poussières adhérentes doivent être retirées de l'intérieur du tube avant introduction du tube sur le convoyeur de revêtement. La surface des tubes doit être exempte de fissures, dents, laminages, sels, huile et graisses et/ou autres contaminants et doit être complètement sèche. En cas de présence excessive de poussières diverses sur/dans le tube, les tubes devront être nettoyés avant leur livraison aux différents ateliers de revêtement.

La température du tube peut varier entre +15°C et +40°C sur la surface entière, mais doit, en tout cas, être +5°C au-dessus du point de rosée et doit être absolument sec.

Le degré de propreté des surfaces extérieures et intérieures des au stade initial doit être le degré A, suivant le Standard SIS 055900 (Suède) ou ISO 8501. [20]

III.3.5. Utilitaires et consommables :

➤ Puissance électrique :

- Tension : 400 V CA + / - 5%
 - Fréquence : 50 Hz + / - 1%
- (3 Phases avec neutre et terre)

➤ Air comprimé :

- Pression de service : 6 - 7 Bar
- Point de rosée sous pression : + 4 °C
- Qualité requise : Selon la norme ISO 8573/1 :
 - ✓ Classe 3 (teneur en impuretés)
 - ✓ Classe 4 (teneur en eau)
 - ✓ Classe 3 (teneur en huile)

➤ L'huile hydraulique :

- Qualité général : Selon ISO 4406 : classe 18/15
(130,000 à 250,000 particules > 5µm et 16,000 à 23,000 particules > 15µm)
- Qualité pour la grenailleuse intérieure : Selon to ISO 4406 : classe 16/13
(32,000 à 64,000 particules > 5µm et 4000 à 8000 particules > 15µm)
L'huile recommandée général est ISO VG 46 HVLP.
L'huile recommandée pour la grenailleuse intérieure est ISO VG 68 HVLP.

➤ Abrasif :

GP 40

Fabrication recommandée: Wheelabrator Allevard (France)

➤ Huile et graisse :

Comme spécifié dans les consignes d'entretien.

III.3.6. Conditions environnementales :

Les équipements seront installés dans un bâtiment.

Conditions climatiques à l'intérieur du bâtiment :

- Température minimum : - 1 °C
- Température maximum : + 52 °C
- Humidité max. relative en hiver : 75%

III.3.7. Capacité de production :

La capacité de production théorique de la flèche de grenailage intérieur, basée sur une longueur de tube de 13 mètres, un degré initial de rouille A (selon SIS055900 standard), un degré de traitement SA 21/2 est de :

- Pour Flèche de grenailage « petit » est jusqu' un maximum 70 à 135 m^2/hr ; gamme 8 $\frac{5}{8}$ " - 16"
- Pour Flèche de grenailage « moyenne » est jusqu' un maximum 250 à 300 m^2/hr gamme 18" - 24" est jusqu' un maximum 300 à 350 m^2/hr gamme 24" - 30"
- Pour Flèche de grenailage « grand » est jusqu' un maximum 400 à 600 m^2/hr gamme 32" - 80"

Toutes les valeurs de production sont basées sur :

- Une bonne qualité et rectitude des tubes.
- Une bonne qualité, forme et hauteur du cordon de soudure du tube.
- L'utilisation de grenaille adaptée.
- L'utilisation des équipements par du personnel qualifié et expérimenté.
- Une maintenance convenable des équipements et des conditions opérationnelles locales normales.
- La capacité de grenailage ne prend pas en compte les temps de repositionnement des équipements et de manutention des tubes
- La capacité de production réduira si les tubes présentent un degré d'ovalisation excessif et/ou ne sont pas droits ou de longueur inférieure à 15 mètres.

III.4 Principe de base de fonctionnement :

La ligne de grenailage intérieur se compose des parties suivantes :

- Grilles d'entrée avec stop-éjecteur.
- Unités de rotation avec bras récepteur et bras éjecteur.
- Grenailleuse intérieure.
- Filtres dépoussiéreurs.

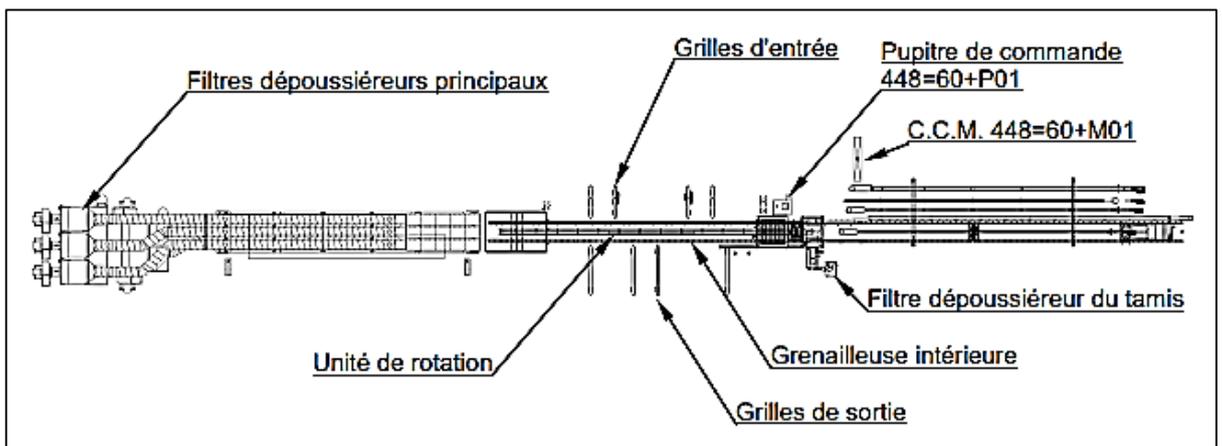


FIG III.2. Vue de dessus de la grenailleuse intérieure [20]

Le tube est fourni sur les grilles d'entrée, et est ensuite placé sur les unités de rotation par le stop éjecteur et le bras récepteur.

Chapitre III : Généralité sur La machine grenailleuse intérieure

Les deux cabines sont placées autour les extrémités de tube. Ensuite, l'intérieur du tube est grenailé par l'unité de grenailage intérieur.

Le grenailage enlève la rouille et les contaminations et crée une surface de rugosité adéquate pour le traitement ultérieur.

Après le grenailage, le tube est positionné correctement et déposé sur les grilles de sortie par le bras éjecteur.

III.5 Grenailleuse intérieure :

L'unité de grenailage intérieur se compose de deux unités de rotation, un chariot de lance avec une lance de grenailage (flèche) et un système d'alimentation, de recyclage et de nettoyage d'abrasif.

Trois dimensions de lance de grenailage sont fournies avec l'équipement.

La lance petite est montée avec une petite turbine de grenailage (160 ou 200 mm diamètre), qui est appropriée aux tubes d'un diamètre de 85/8" à 16" (219 - 406 mm). À partir de maintenant nous réfèrerons à cette lance comme la lance 85/8" à 16" ou Lance A.

La lance moyenne et la lance grande sont montées avec une grande turbine de grenailage (diamètre 315 à 500 mm pour la lance moyenne et 500 mm pour la lance grande). La lance moyenne est appropriée aux tubes d'un diamètre de 18" à 30" (457 - 762 mm). À partir de maintenant nous réfèrerons à cette lance comme la lance 18" à 30" ou Lance B. La lance grande est appropriée aux tubes d'un diamètre de 32" à 80" (813 - 2032 mm). À partir de maintenant nous réfèrerons à cette lance comme la lance 32" à 80" ou Lance C.

Après que le tube est placé sur les unités de rotation par le stop de tube et le bras-récepteur, la cabine de chariot de support et la cabine à poussière sont placée sur les extrémités de tube.

Le grenailage ne peut commencer que si les cabines couvrent l'extrémité des tubes, il n'est donc pas possible de grenailer hors de la cabine.

Ensuite le chariot de lance déplace la lance de grenailage avec la tête de grenailage à travers le tube. Le grenailage peut être exécuté pendant la course avant ou la course arrière où pendant les deux courses.

L'abrasif est conduit du silo de stockage d'abrasif à la tête de grenailage par un petit tapis convoyeur sur la lance. L'abrasif est dosé par les valves de distribution d'abrasif et mis sur le tapis convoyeur par le pied d'alimentation d'abrasif. La roue de grenailage jette l'abrasif contre l'intérieur du tube.

Chapitre III : Généralité sur La machine grenailleuse intérieure

Quand la lance 18" à 30" ou la lance 32" à 80" est utilisée pour grenailer des diamètres de tubes de 18" (457 mm) et des diamètres plus grands, le tube doit tourner pendant le grenailage. Due à la rotation du tube et la force du mouvement de la lance dans le tube, le tube se déplacera toujours à un petit pas. Afin de contrôler cet effet, les roues d'une unité de rotation sont réglées à un petit angle pour compenser tout mouvement axial du tube. Quand le tube se déplace trop, l'angle est renversé à l'aide d'un soufflet pneumatique ce qui fait déplacer le tube en direction inverse.

L'abrasif utilisé, la rouille etc. sont aspirés hors du tube par le filtre dépoussiéreur principal. Dans la cabine à poussière, l'abrasif et la poussière lourde sont séparés de l'air et tombent sur le tapis convoyeur de recyclage. L'air est filtré et la poussière est collectée par le filtre dépoussiéreur.

L'abrasif est reconduit de la cabine à poussière au tamis par le tapis convoyeur de recyclage, la vis transporteuse d'abrasif et l'élévateur.

Il entre dans le tamis et est séparé de la pollution par le grillage du tamis. Ensuite l'abrasif est conduit à travers un courant d'air qui aspire les particules plus légères et la poussière. Les particules tombent dans un tube de récupération. L'abrasif nettoyé tombe dans le silo et est prêt à être réutilisé. L'air est filtré par le filtre dépoussiéreur.

Quand le grenailage est prêt, la lance est remise en position extrémité arrière et la cabine du chariot de support et la cabine à poussière sont enlevées des extrémités des tubes. Ensuite les chariots de rotation déplacent le tube vers la position fixe de sortie. Les bras-éjecteurs déplacent le tube vers les grilles intermédiaires. [20]

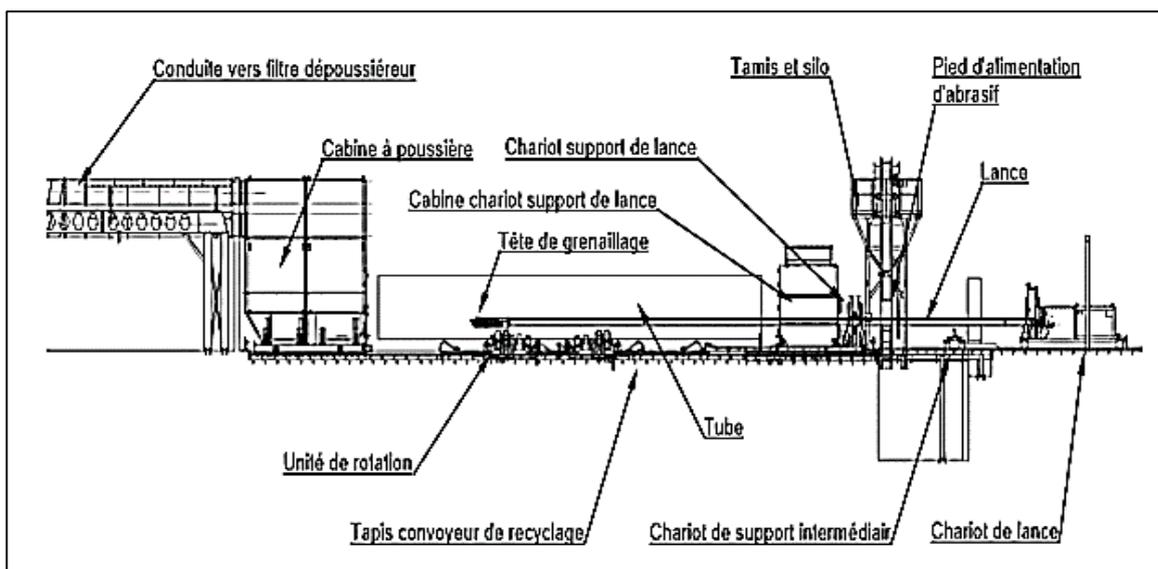


FIG.III.3. Vue de côté de l'unité de grenailage intérieure [20]

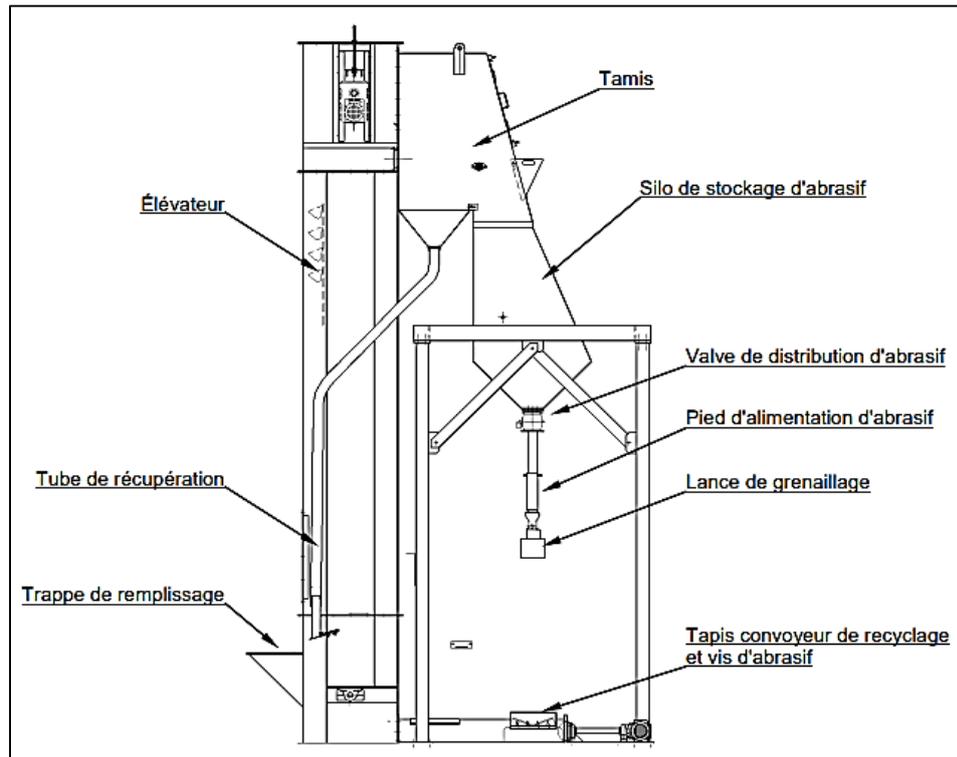


FIG.III.4. Vue de face de l'unité de grenailage intérieure [20]



FIG.III.5. La lance et Turbine de grenailage

III.6 Filtres dépoussiéreurs :

Le filtre dépoussiéreur aspire l'air poussiéreux et filtre l'air de la poussière et des petites particules.

Les filtres dépoussiéreurs sont équipés avec des filtres à cartouche remplaçables. Un ventilateur branché au filtre dépoussiéreur aspire l'air poussiéreux à travers les filtres à cartouche. La poussière est de la rouille ou de la saleté, et elle est inutilisable et l'on doit s'en débarrasser. Pendant le processus de filtrage, la poussière s'accumule sur l'extérieur des filtres à cartouche. Afin de nettoyer les filtres de cartouche, une impulsion d'air comprimé est régulièrement soufflée à contre-courant à travers les filtres à cartouche. Ainsi la poussière accumulée tombe du filtre à cartouche dans une trémie collectrice. Ainsi seulement un filtre à cartouche est nettoyé assurant ainsi un fonctionnement continu du filtre dépoussiéreur. L'impulsion d'air est libérée par une vanne à diaphragme montée juste derrière chaque filtre à cartouche. Une valve magnétique contrôlée par une minuterie active la valve à diaphragme.

La poussière est composée de matériel inutilisable et est recueillie dans un container de poussière monté sous la trémie.

Six filtres dépoussiéreurs sont placés près de la grenailleuse intérieure : un petit et cinq grands filtres dépoussiéreurs.

- Ce petit filtre est utilisé pour nettoyer l'abrasif et est branché au tamis :

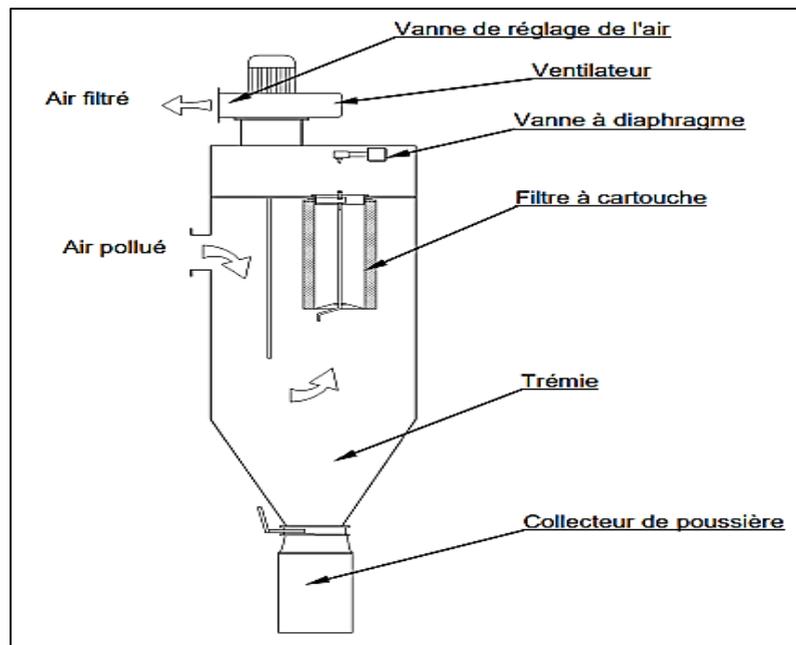


FIG.III.6. Principe de fonctionnement du filtre dépoussiéreur du tamis [20]

Chapitre III : Généralité sur La machine grenailleuse intérieure

Le ventilateur de ce filtre dépollueur est monté directement sur la cabine du filtre dépollueur. Une vanne de réglage de l'air est montée directement après le ventilateur. Ce filtre dépollueur est équipé de 3 cartouches de filtre qui sont placées verticalement dans la cabine

Le filtre dépollueur principal est utilisé pour extraire l'abrasif du tube pendant le grenailage, en créant un fort courant d'air dans le tube.

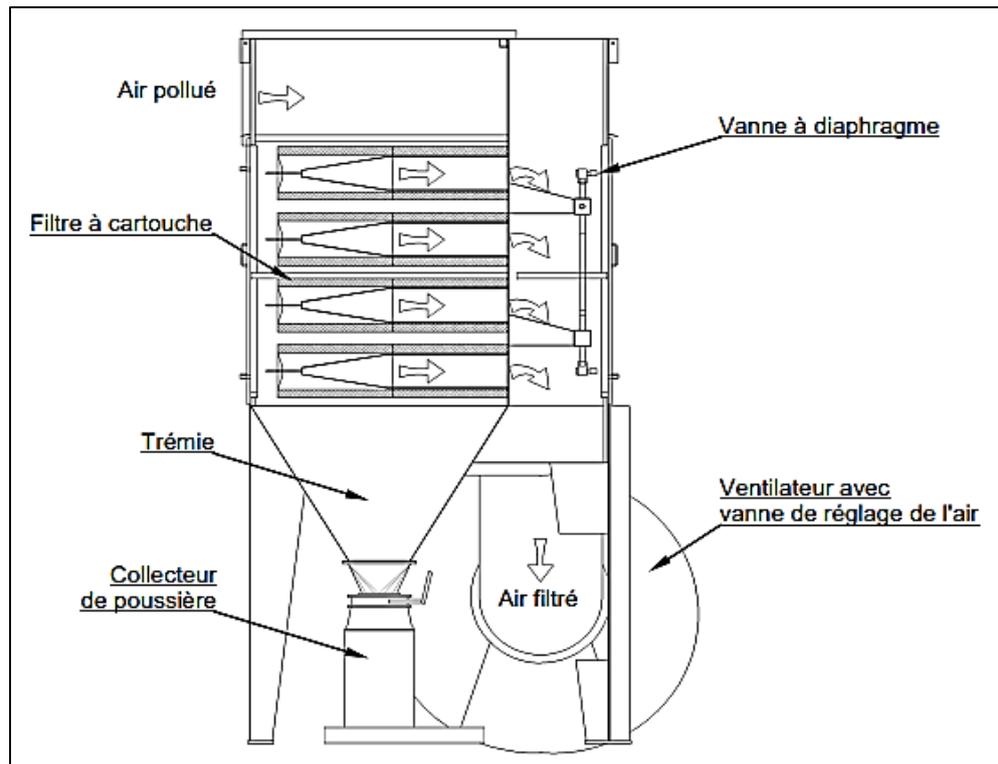


FIG.III.7. Filtre dépollueur principal de la grenailleuse intérieure [20]

L'abrasif et la poussière lourde sont séparés de l'air dans la cabine à poussière placée avant le filtre dépollueur. Ainsi seul l'air rempli de poussière est aspiré vers le filtre dépollueur. Le ventilateur est monté sur le sol et connecté avec un tube à la cabine du filtre dépollueur. Une vanne de réglage de l'air est montée dans le tube entre la cabine et le ventilateur. Ce filtre dépollueur est équipé de 32 cartouches de filtres de longueur normale ou de 16 cartouches de filtres de double longueur, qui sont placées horizontalement dans la cabine.

Chapitre IV :
Etude de maintenance FMD et
AMDEC de la machine

Chapitre IV : Etude de maintenance FMD et AMDEC de la machine :

IV.1. Introduction :

Gérer la maintenance du site dans un système de production est un travail difficile car à une telle époque, il est difficile de gérer les choses simples dans un environnement complexe. L'objectif du chapitre est d'utiliser l'historique des pannes de la grenailleuse intérieure au cours des trois années (2021-2022-2023) pour l'optimisation de la maintenance par la méthode AMDEC et FMD de cette machine, en suivant les trois courbes de la trace.

IV.2. Historique des pannes :

D'après l'historique des pannes de la machine Grenailleuse Intérieure de la société de maintenance des équipements industriels au cours des trois années (2021-2022-2023) on résume les temps de réparations dans le **Tableau IV. 1.**

Tableau IV. 1. Historique De La Machine Grenailleuse Intérieur

Date d'arrêt	TBF (h) (min)	TTR (h)(min)	Mode de défaillance	Action	Cause
07/01/2021	18h	1h	Fissure des Roulements	Changement de roulement du galet et mise en place tube de cabine mobile	Roulements usée
12/01/2021	76h	2h	Cisaillement l'axe D'entraînement	Démontage moto-réducteur de rotation côté droit	Cisaillement l'axe d'entraînement du chariot support flèche
14/01/2021	38h30m in	30min	Fissure dans les joint	Élimination fuite de l'air sur flexible d'alimentation vérin de mise en place tube	Usure dans le joint
17/01/2021	38h20m in	40min	Filtre colmaté	Nettoyage filtre à grenailleuse époxy	Consignes de constructeur
21/01/2021	78h30m in	30min	de la chaîne énergétique de cabine centrale	Travaux réparation chaîne énergétique de cabine centrale.	défaillance de la chaîne énergétique de cabine centrale.
24/01/2021	16h	2h	l'état des godets	Changement godets port grain	Dégradation dans l'état des godets
25/01/2021	18h	1h	Blocage des paliers	Serrage support de fixation	Coincement de paliers

Chapitre IV : Etude de maintenance FMD et AMDEC de la machine

				galet d'appui	
26/01/2021	18h	1h	Arrêt registre et distributeur de flèche	Changement registre et distributeur de flèche	Délai demandé par le fabricant pour changement
22/02/2021	458h 30min	30min	la fixation moto-réducteur	Serrage fixation moto-réducteur d'entraînement chariot	Desserrage de la fixation
24/02/2021	58h20m in	40min	Fuite d'air de positionner le tube sur chariot	Réglage de boîte de pression d'air de positionner le tube sur chariot	usure des joints
25/02/2021	18h20 min	40min	Blocage galet de guidage	Réparation galet de guidage sur cabine mobile	Usure dans l'état des galets
27/02/2021	4h	8h	Arrêt moteurs des cabines (1 et 2)	Contrôle circuit électrique et automatique des moteurs des cabines (1 et 2) et nettoyage leurs relais.	fusibles des moteurs défaillants
09/06/2021	198h	1h	blocage du Mano de pression	Changement Mano de pression 250 bar sur groupe hydro mise en place tube (chariot central)	blocage du Mano de pression
13/06/2021	58h30m in	30min	blocage de la turbine	Contrôle la tête de grenailleuse et déblocage de turbine	blocage de la turbine à cause de les graines
14/06/2021	18h	1h	nettoyage de turbine	Démontage des accessoires de la flèche et nettoyage de turbine	Accumulations des chutes et déchets.
14/06/2021	16h20 Min	40min	Arrêt capteur arrière cabine mobile	Réglage capteur arrière cabine mobile grenailleuse	Existence un obstacle du capteur lumineux
15/06/2021	6h	7h	Problème électrique	Problème grenailleuse manque phase entre disjoncteur principal	dilatation de câble électrique
16/06/2021	18h10 Min	50min	Réarmement disjoncteur principal de la machine	Réarmement disjoncteur principal de la machine	Desserrage du fil électrique

Chapitre IV : Etude de maintenance FMD et AMDEC de la machine

17/02/2022	298h 20min	40min	Blocage galet de guidage	Réparation galet de guidage sur cabine mobile	Usure dans les roulements du galet
19/02/2022	18h	1h	Fuite conduite flexible	Réparation raccord flexible pompe chariot de flèche	Fuite conduite flexible
21/02/2022	38h20m in	40min	Blocage galet de guidage	Réglage galet de guidage flèche à côté gauche	Usure dans l'état des galets
22/02/2022	16h30 Min	1h30 min	Délai demandé par le Fabriquient	Changement distributeur pneumatique positionnement tube usure	Délai demandé par le fabriquent pour changement
24/02/2022	38h	1h	Consignes de constructeur support de la	Nettoyage filtre de pompe hydraulique	Consignes de constructeur
28/02/2022	56h	2h	fixation	Serrage support de fixation galet d'appui	Desserrage support de la fixation
01/03/2022	18h30 min	30min	Fuite flexible de circuit hydraulique	Changement des flexibles hydrauliques de rotation turbine	Fuite flexible de circuit hydraulique
06/03/2022	76h30m in	1h30m	Problème rouleau galet de positionnement	Débloccage rouleau galet de positionnement tube sur cabine mobile	bloccage rouleau galet de positionnement
24/03/2022	318h	1h	Desserrage câble de commande	Réparation câble de commande et chaîne énergétique	défaillance de la chaîne énergétique et Desserrage câble de commande
27/03/2022	28h	6h	Fissuration au niveau la Fixation	Renforcement de la flèche dans son support avec soudage	Fissuration au niveau la fixation
30/03/2022	56h	2h	Arrêt motoréducteur de rotation côté droit	Démontage motoréducteur de rotation côté droit	Cisaillement l'axe d'entraînement du chariot support flèche
03/04/2022	54h30m in	2h30m	Fuite conduite groupe hydraulique	Elimination fuite d'huile en niveaux flexible pompe hydraulique	Fuite conduite groupe hydraulique Fuite flexible
04/04/2022	18h10 Min	50min	Fuite dans le flexible d'huile	Serrage de flexible d'huile grenailleuse	Fuite dans le flexible d'huile
21/04/2022	298h	1h	Blocage galet de translation chariot	Démontage galet de translation chariot support flèche	Usure dans l'état des Galets

Chapitre IV : Etude de maintenance FMD et AMDEC de la machine

22/04/2022	12h	4h	Cisaillement l'axe	Démontage axe de la couronne galets d'appui	Cisaillement l'axe
18/05/2022	454h	3h	User de roulements	Changement 4 roulements des roues de rotation tube	Roulements usée
23/05/2022	78h 30min	30min	Arrêt capteur arrière cabine mobile	Réglage capteur arrière cabine mobile grenailleuse	Existence un obstacle du capteur lumineux
11/06/2022	318h 40min	20min	Nettoyage d'électrovanne	Nettoyage d'électrovanne du tapis des graines	Consignes de constructeur
18/06/2022	118h 20min	40min	Problème dans la boîte de pression d'air	Réglage de boîte de pression d'air de positionner le tube sur chariot	Usure dans le joint
23/06/2022	98h 10min	50min	Fuite d'huile de bac réservoir grenailleuse	Appoint d'huile de bac réservoir grenailleuse époxy et mise en niveaux normal	Dommages les joints
13/09/2022	216h 30min	1h30m	la lame Pa lette cassée	Changement de lame Palette	Usure dans la lame Palette
21/09/2022	138h 20min	40min	Desserrage la fixation de capture	Réglage la fixation de capture de la flèche	Vibration
28/09/2022	108h	6h	User la couronne des galets d'appui	Changement la couronne des galets d'appui	Usure dans la surface polyéthylène
09/10/2022	176h 30min	1h30 min	Délai demandé par le fabricant	Changement registre grenailleuse	Délai demandé par le fabricant pour changement
11/10/2022	38h	1h	Fuite dans la conduit d'air de refroidissement	Serrage conduit d'air de refroidissement (courroie de turbine)	Fuite d'air
16/10/2022	78h 20min	40min	Vibration godet l'élévateur des graines	Serrage de godet l'élévateur des graines	Desserrage de godet l'élévateur des graines
17/11/2022	548h 10min	50min	Desserrage des vis	Réglage de Bande et serrage des vis du bac flèche	Tondage de bande de flèche et Desserrage des vis
01/12/2022	238h 20min	40min	Dégradation de l'état de la courroie de la turbine	Changement la courroie de la turbine	détérioration de l'état de la courroie de la turbine
06/12/2022	78h	1h	fuite conduit d'air de refroidissement	Serrage conduit d'air de refroidissement (courroie de turbine)	Fuite d'air
10/12/2022	52h	4h	Desserrage table porteuse flèche	Démontage table porteuse flèche	Cisaillement d'une vis

18/12/2022	138h 30min	30min	Desserrage de flèche de la tête de grenailleuse	Serrage de flèche de la tête de grenailleuse	Vibration
02/01/2023	248h 30min	5h30 min	blocage vis Archimède	Déblocage vis Archimède (récupérateur grain)	Accumulations des chutes et déchets
07/01/2023	78h 10min	50min	Détérioration dans l'état de palette	Changement palette grenailleuse	Dégradation dans l'état de palette
19/01/2023	218h 30min	30min	Blocage galet de guidage	Réparation galet de guidage d'extrémité tube de cabine fixe	Roulements usée
20/02/2023	538h 10min	50min	Fuite flexible	Vérifications l'huile et Appoint d'huile de groupe hydro de grenailleuse	Fuite conduite groupe hydraulique Fuite flexible

IV.3. Application pratique des méthodes d'analyse :

IV.3.1 Méthodes d'analyse prévisionnelle « ABC (Pareto) » :

Pour l'application de la méthode ABC, il faut en premier lieu faire un classement des pannes par ordre décroissant des heures des pannes puis procéder à l'établissement d'un graphe de Pareto :

Tableau IV. 2. L'analyse ABC (Pareto)

Organe	TTR(h)	Cumul TTR	% TTR	Nombre de panne	Cumul des pannes	%de pannes Cumulées
Galets d'appui	18	18	20.76	10	10	18.87
La flèche	13.3	31.3	36.10	6	16	30.19
Grenailleuse époxy	10	41.3	47.64	4	20	37.76
Moteurs des cabines (1 et 2)	8	49.3	56.86	1	21	39.62
Groupe hydraulique	6.6	55.9	64.48	6	27	50.94
La turbine	6.5	62.4	71.97	7	34	64.15
Vis Archimède	5.5	67.9	78.32	1	35	66.04
Moto-réducteur	4.5	72.4	83.50	3	38	71.70
Roulements	4	76.4	88.12	2	40	75.47
L'élévateur des graines	2.6	79	91.12	2	42	79.25
Distributeur pneumatique positionnement tube	2.1	81.1	93.54	2	44	83.02

Des joints	2	83.1	95.85	3	47	88.68
Capture de la flèche	1.8	84.9	97.92	3	50	94.34
Chaîne énergétique	1.5	86.4	99.68	2	52	98.12
Électrovanne du tapis des graines	0.3	86.7	100	1	53	100

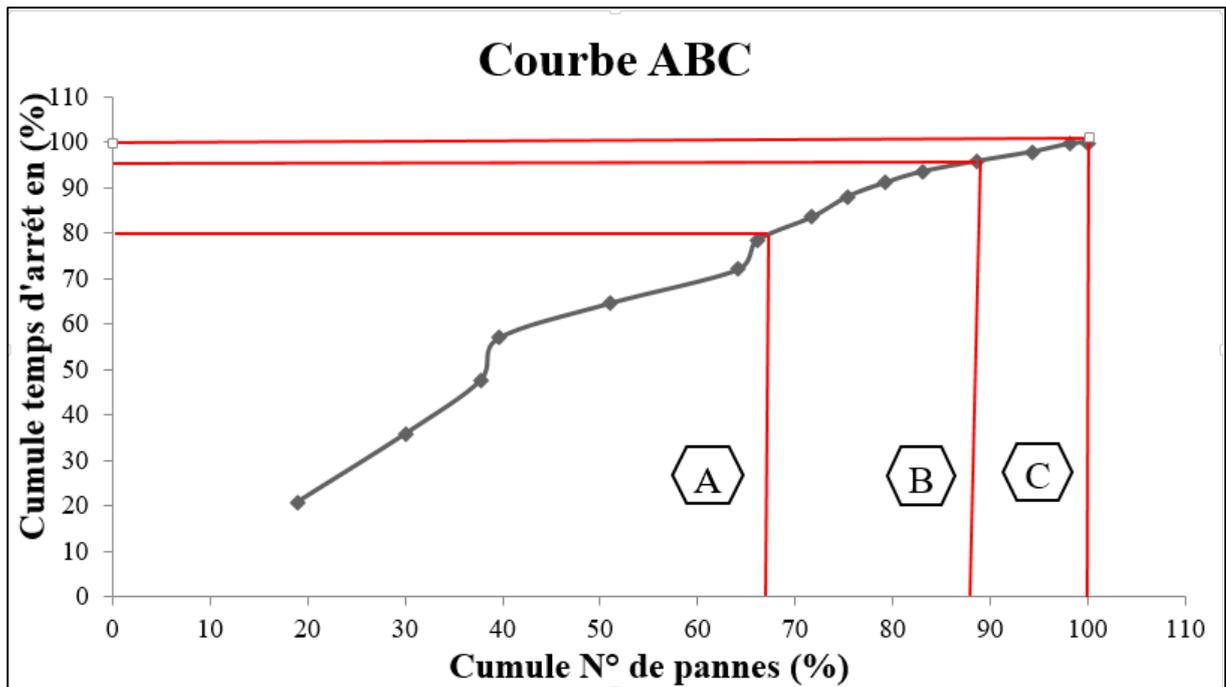


FIG IV. 1. La Courbe d'ABC

IV.3.2 Interprétation des résultats :

➤ **Zone A :**

Dans la majorité des cas, on constate qu'environ 66.04 % des pannes représente 78.32 % des heures d'arrêts, ceci constitue la zone A, zone des priorités :

- Galets d'appui
- La flèche
- Grenailleuse époxy
- Moteurs des cabines (1 et 2)
- Groupe hydraulique
- La turbine
- Vis Archimède

Cette zone nécessite une intervention systématique à un intervalle de temps bien étudié.

➤ **Zone B :**

Dans cette tranche, les 22.64 % des pannes représentent 17.53 % supplémentaire

(Moto-réducteur - Roulements - L'élévateur des graines - Distributeur pneumatique positionnement tube - Des joints).

➤ **Zone C :**

Dans cette zone les 11.32% des pannes restantes ne représentent que 4.15 % des heures d'arrêts (Capture de la flèche - Chaîne énergétique - Électrovanne du tapis des graines).

IV.4. Calcule des paramètres de Weibull :

Le tableau suivant (tableau IV.3) comporte les TBF classés par ordre croissant, et la fonction de répartition réelle F(i) calculé par la Méthode des rangs bruts :

$$F(i) = \frac{ni}{N} = \frac{\sum^R i}{N} \approx F(t) \quad \text{(IV.1)}$$

Dans notre cas (N=53 > 50) et on trace la courbe de Weibull :

Tableau IV.3. La Fonction de réparation réelle

N°	TBF (h)	ni	F(i)	F(i) %
1	4	1	0.018	1.8
2	6	2	0.037	3.7
3	12	3	0.056	5.6
4	16	4	0.075	7.5
5	16.50	5	0.094	9.4
6	18	6	0.113	11.3
7	18.15	7	0.132	13.2
8	18.30	8	0.151	15.1
9	18.40	9	0.169	16.9
10	18.50	10	0.188	18.8
11	20.20	11	0.207	20.7
12	20.30	12	0.226	22.6
13	20.40	13	0.245	24.5
14	20.50	14	0.264	26.4

Chapitre IV : Etude de maintenance FMD et AMDEC de la machine

15	28	15	0.283	28.3
16	38	16	0.310	31
17	38.30	17	0.320	32
18	38.40	18	0.339	33.9
19	38.50	19	0.358	35.8
20	40	20	0.377	37.7
21	52	21	0.396	39.6
22	54.50	22	0.415	41.5
23	56	23	0.433	43.3
24	56.30	24	0.452	45.2
25	58.30	25	0.471	47.1
26	58.50	26	0.490	49
27	76	27	0.509	50.9
28	76.50	28	0.528	52.8
29	78	29	0.547	54.7
30	78.10	30	0.566	56.6
31	78.20	31	0.584	58.4
32	78.30	32	0.603	60.3
33	78.50	33	0.622	62.2
34	89.10	34	0.641	64.1
35	108	35	0.660	66
36	118.20	36	0.679	67.9
37	138.20	37	0.698	69.8
38	138.30	38	0.716	71.6
39	176.30	39	0.735	73.5
40	198	40	0.754	75.4
41	216.30	41	0.773	77.3
42	218.30	42	0.79	79
43	222.30	43	0.811	81.1
44	238.20	44	0.830	83
45	248.30	45	0.849	84.9
46	298.10	46	0.867	86.7
47	318	47	0.886	88.6

48	318.40	48	0.905	90.5
49	454	49	0.924	92.4
50	456.30	50	0.943	94.3
51	458.40	51	0.962	96.2
52	524	52	0.981	98.1
53	548.10	53	1	100 %

IV.5. La méthode des moindres carrés :

Elle consiste à chercher la droite pour minimiser la somme des carrés des distances horizontales des divers points à la droite et donne les paramètres de "Weibull" (β et η), On estime la valeur de ces paramètres par la méthode des moindres carrés en utilisant les expressions suivantes :

$$x_i = \text{Ln}(TBF) \quad Y_i = \text{Ln}[\text{Ln}(1 / (1 - f(i)))] \quad \text{(IV.2)}$$

Avec : $\gamma = 0$

Extraire les paramètres β , η et γ . du papier de Weibull :

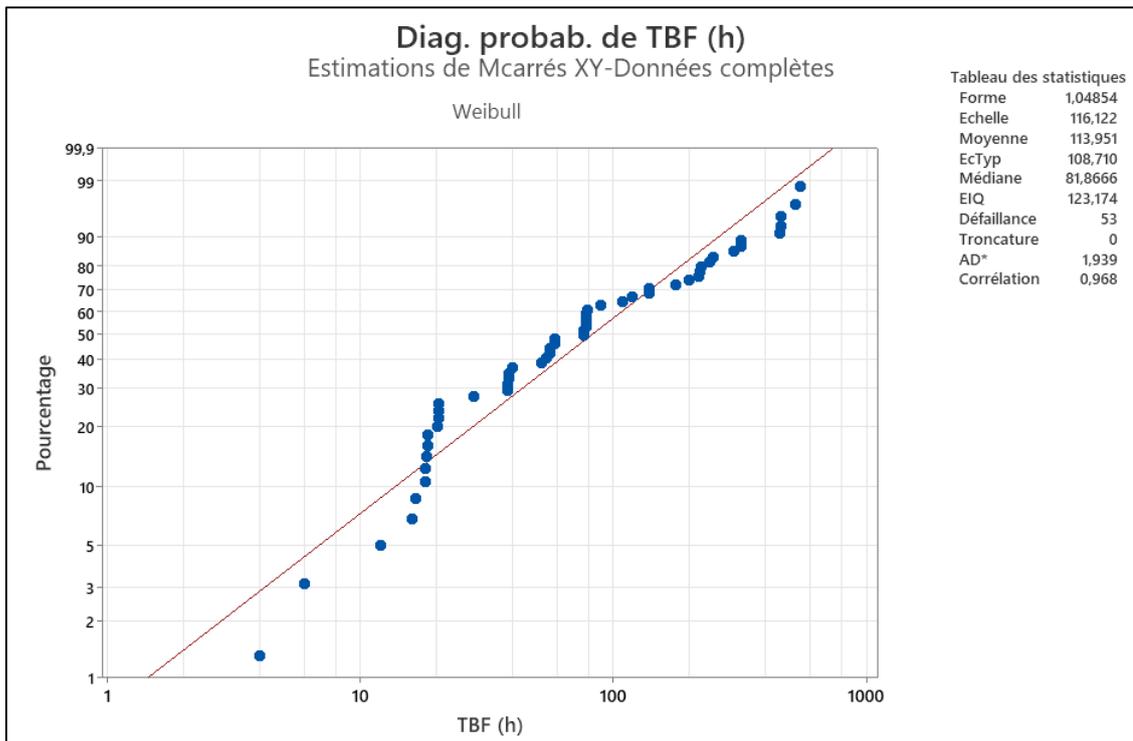


FIG IV. 2. Papier de Weibull en logiciel Minitab

$\beta = 1.04854$ $\gamma = 0$ Par ce que les pannes passent à l' origine du temps.
 $\eta = 116.122$

1	Xi	Yi	Xi*Yi	Xi^2	Yi^2	28	4,33073	-0,3394	-1,4699	18,7553	0,11519
2	1,38629	-3,9608	-5,4908	1,92181	15,6878	29	4,33729	-0,2858	-1,2396	18,8121	0,08168
3	1,79176	-3,258	-5,8375	3,2104	10,6144	30	4,35671	-0,2329	-1,0146	18,9809	0,05424
4	2,48491	-2,8427	-7,0638	6,17476	8,08087	31	4,35799	-0,1806	-0,7869	18,9921	0,0326
5	2,77259	-2,545	-7,0563	7,68725	6,47712	32	4,35927	-0,1287	-0,561	19,0032	0,01656
6	2,80336	-2,3117	-6,4806	7,85883	5,34404	33	4,36055	-0,0771	-0,3363	19,0144	0,00595
7	2,89037	-2,1191	-6,1249	8,35425	4,49042	34	4,3631	-0,0258	-0,1124	19,0366	0,00066
8	2,89867	-1,9544	-5,6651	8,40229	3,81965	35	4,48976	0,02552	0,1146	20,1579	0,00065
9	2,9069	-1,8102	-5,2619	8,45007	3,27665	36	4,68213	0,07689	0,36	21,9224	0,00591
10	2,91235	-1,6815	-4,897	8,48179	2,8273	37	4,77238	0,12846	0,61307	22,7756	0,0165
11	2,91777	-1,565	-4,5663	8,51339	2,44917	38	4,9287	0,18041	0,88917	24,2921	0,03255
12	3,00568	-1,4583	-4,3833	9,03413	2,12675	39	4,92943	0,23289	1,14801	24,2992	0,05424
13	3,01062	-1,3598	-4,0938	9,06384	1,84897	40	5,17219	0,28611	1,4798	26,7515	0,08186
14	3,01553	-1,2679	-3,8235	9,09345	1,60766	41	5,28827	0,34028	1,7995	27,9658	0,11579
15	3,02042	-1,1818	-3,5695	9,12297	1,39662	42	5,37667	0,39567	2,12741	28,9085	0,15656
16	3,3322	-1,1005	-3,6671	11,1036	1,21109	43	5,38587	0,4526	2,43765	29,0076	0,20485
17	3,63759	-1,0234	-3,7227	13,232	1,04733	44	5,40403	0,51145	2,76389	29,2035	0,26158
18	3,64545	-0,9499	-3,4629	13,2893	0,90234	45	5,47311	0,57271	3,13451	29,9549	0,328
19	3,64806	-0,8796	-3,2089	13,3083	0,77372	46	5,51464	0,63703	3,51297	30,4112	0,4058
20	3,65066	-0,8121	-2,9646	13,3273	0,65948	47	5,69743	0,70526	4,01819	32,4607	0,4974
21	3,68888	-0,747	-2,7556	13,6078	0,55801	48	5,76205	0,77865	4,48663	33,2012	0,6063
22	3,95124	-0,6841	-2,703	15,6123	0,46796	49	5,76331	0,85902	4,95082	33,2157	0,73792
23	3,9982	-0,6231	-2,4911	15,9856	0,38819	50	6,1181	0,94934	5,80814	37,4311	0,90124
24	4,02535	-0,5637	-2,2691	16,2035	0,31777	51	6,12315	1,0549	6,45929	37,493	1,11281
25	4,03069	-0,5058	-2,0389	16,2465	0,25588	52	6,12774	1,18697	7,27346	37,5492	1,4089
26	4,0656	-0,4493	-1,8266	16,5291	0,20185	53	6,26149	1,37884	8,63359	39,2063	1,9012
27	4,06903	-0,3939	-1,6026	16,557	0,15512	54	6,30646	#DIV/0!	#DIV/0!	39,7714	#DIV/0!

FIG IV. 3. Page de calcul on Excel

IV.6. Exploitation les paramètres de WEIBULL :

IV.6.1 Le MTBF :

$$A = 0.98079, \quad B = 0.93440$$

$$MTBF = A.\eta + \gamma \tag{IV.3}$$

$$MTBF = 0.98079 \times 116.122 + 0 \tag{IV.4}$$

$$MTBF = 113.891 h \tag{IV.5}$$

La densité de probabilité en fonction de MTBF :

$$f(t = MTBF) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp \left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right] = 0,003382564 = 0.33\% \tag{IV.6}$$

IV.6.2 La fonction de réparation en fonction de MTBF :

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right] = 0,62 = 62\% \quad (\text{IV.7})$$

IV.6.3 La fiabilité en fonction de MTBF :

$$R(t = MTBF) = 1 - F(t = MTBF) = 1 - 0,62 = 0,38 \quad (\text{IV.8})$$

$$R(MTBF) = 38\%$$

IV.6.4 Le taux de défaillance en fonction de MTBF :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (\text{IV.9})$$

$$\lambda(t = MTBF) = \frac{1,04854}{116,122} \left(\frac{113,891}{116,122}\right)^{1,04854-1} = 0,00901 \text{ panne/heure}$$

IV.7. Étude de modèle de Weibull :

IV.7.1. La fonction de la densité de probabilité :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right] \quad (\text{IV.10})$$

$$f(t) = \lambda(t) \cdot R(t) \quad (\text{IV.11})$$

Tableau IV.4. La fonction de la densité de probabilité

TBF (h)	f(t)
4	0,007446931
6	0,007478152
12	0,007372968
16	0,007236922
16.50	0,007218057
18	0,00715966
18.15	0,007153686
18.30	0,00714769

Chapitre IV : Etude de maintenance FMD et AMDEC de la machine

18.40	0,007143681
18.50	0,007139662
20.20	0,007070006
20.30	0,007065836
20.40	0,00706166
20.50	0,007057476
28	0,006729281
38	0,006273658
38.30	0,006259967
38.40	0,006255405
38.50	0,006250843
40	0,006182494
52	0,005645605
54.50	0,005536824
56	0,005472164
56.30	0,005459289
58.30	0,005373945
58.50	0,005365459
76	0,004659095
76.50	0,004640007
78	0,004583117
78.10	0,004579344
78.20	0,004575574
78.30	0,004571806
78.50	0,004564278
89.10	0,004179538
108	0,003561722
118.20	0,003262982
138.20	0,002742242

138.30	0,002739842
176.30	0,001957179
198	0,001610603
216.30	0,001364723
218.30	0,001340149
222.30	0,001292274
238.20	0,001117771
248.30	0,001018998
298.10	0,000643379
318	0,000534573
318.40	0,000532582
454	0,000148013
456.30	0,0001448
458.40	0,000141927
524	7,56812E-05
548.10	5,99989E-05

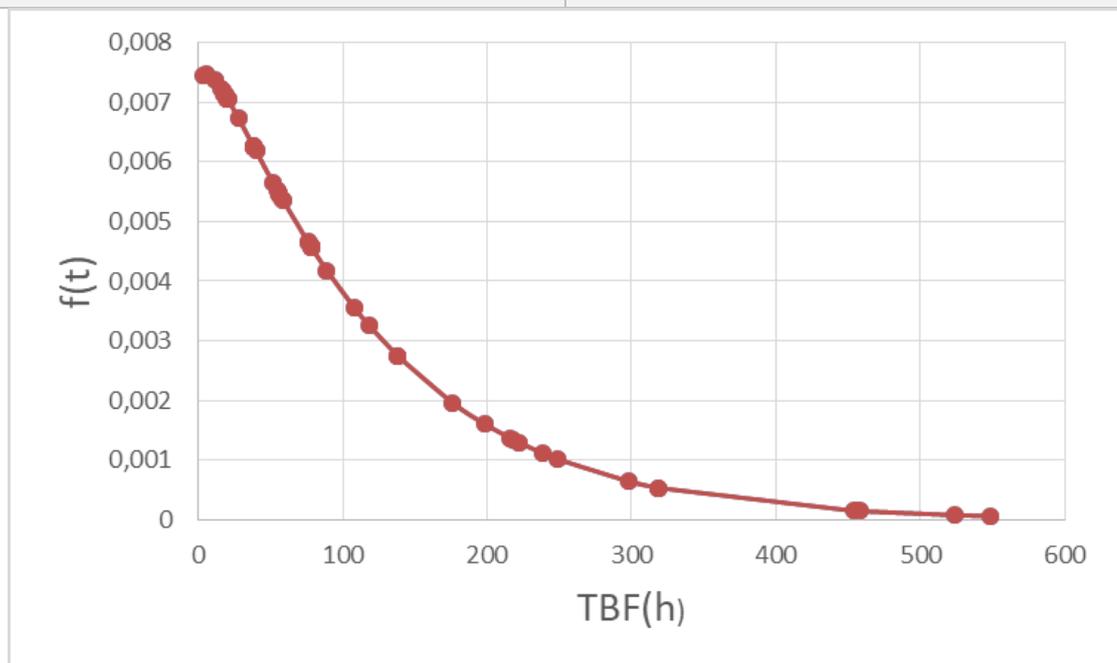


FIG IV.4. La Courbe Densité De Probabilité

Les résultats de calcul de la densité de probabilité en fonction de TBF, on remarque que la fonction $f(t)$ (densité de probabilité) diminue avec le temps.

IV.7.2. Fonction de répartition F(t) :

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right] \quad (\text{IV.11})$$

Tableau IV.5. Fonction de répartition

TBF (h)	F(t)
4	0,028827187
6	0,043761934
12	0,08840469
16	0,11763334
16.50	0,121246955
18	0,132030132
18.15	0,13310359
18.30	0,134176151
18.40	0,134890692
18.50	0,13560483
20.20	0,147682909
20.30	0,148389673
20.40	0,14909602
20.50	0,149801949
28	0,201514855
38	0,266531653
38.30	0,268411622
38.40	0,269037366
38.50	0,269662654
40	0,278987266
52	0,349931802
54.50	0,363909025
56	0,372165379
56.30	0,373805031

Chapitre IV : Etude de maintenance FMD et AMDEC de la machine

58.30	0,384637691
58.50	0,385711588
76	0,473316086
76.50	0,475640767
78	0,482557765
78.10	0,48301587
78.20	0,483473598
78.30	0,483930949
78.50	0,484844521
89.10	0,531160224
108	0,604177187
118.20	0,638961868
138.20	0,698873697
138.30	0,69914779
176.30	0,787606751
198	0,826199316
216.30	0,853362883
218.30	0,856067575
222.30	0,861331653
238.20	0,880458379
248.30	0,89124119
298.10	0,931938018
318	0,94362554
318.40	0,943838962
454	0,984658393
456.30	0,984995102
458.40	0,985296144
524	0,992210052
548.10	0,993837708

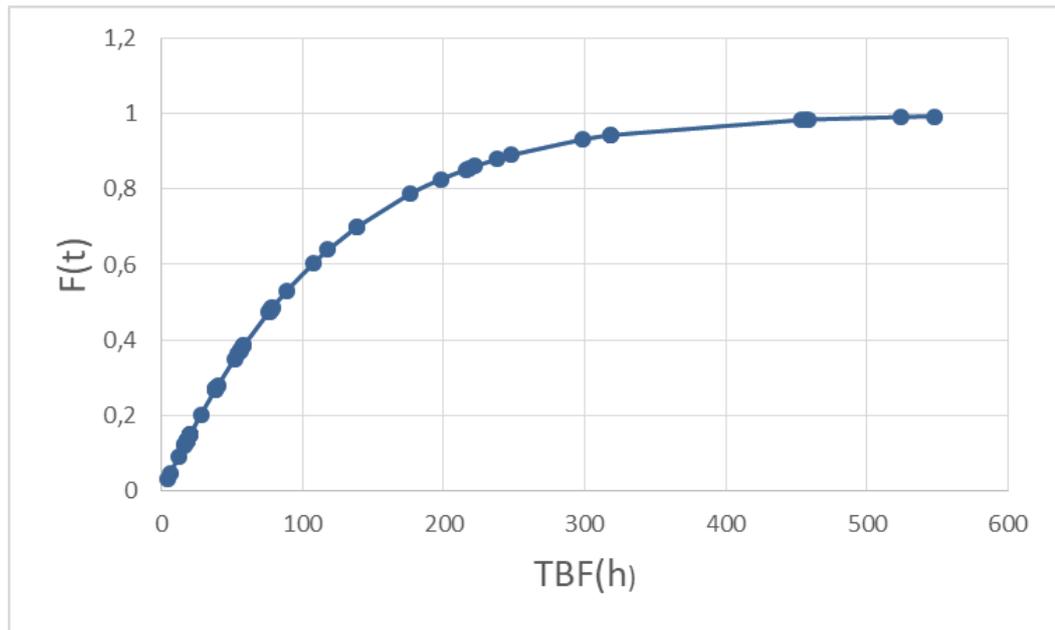


FIG. IV. 5. La courbe de fonction de répartition

La fonction est toujours croissante en fonction du temps de bon fonctionnement. A $t=MTBF$ la valeur de $F(MTBF)= 62\%$

IV.8. La Fiabilité :

La fiabilité en fonction de la fonction de réparation est donnée par l'expression suivante :

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (IV.12)$$

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right] \quad (IV.13)$$

Tableau IV.6. La fiabilité

TBF (h)	R(t)
4	0,971172813
6	0,956238066
12	0,91159531
16	0,88236666
16.50	0,878753045
18	0,867969868
18.15	0,86689641
18.30	0,865823849
18.40	0,865109308

Chapitre IV : Etude de maintenance FMD et AMDEC de la machine

18.50	0,86439517
20.20	0,852317091
20.30	0,851610327
20.40	0,85090398
20.50	0,850198051
28	0,798485145
38	0,733468347
38.30	0,731588378
38.40	0,730962634
38.50	0,730337346
40	0,721012734
52	0,650068198
54.50	0,636090975
56	0,627834621
56.30	0,626194969
58.30	0,615362309
58.50	0,614288412
76	0,526683914
76.50	0,524359233
78	0,517442235
78.10	0,51698413
78.20	0,516526402
78.30	0,516069051
78.50	0,515155479
89.10	0,468839776
108	0,395822813
118.20	0,361038132
138.20	0,301126303
138.30	0,30085221

176.30	0,212393249
198	0,173800684
216.30	0,146637117
218.30	0,143932425
222.30	0,138668347
238.20	0,119541621
248.30	0,10875881
298.10	0,068061982
318	0,05637446
318.40	0,056161038
454	0,015341607
456.30	0,015004898
458.40	0,014703856
524	0,007789948
548.10	0,006162292

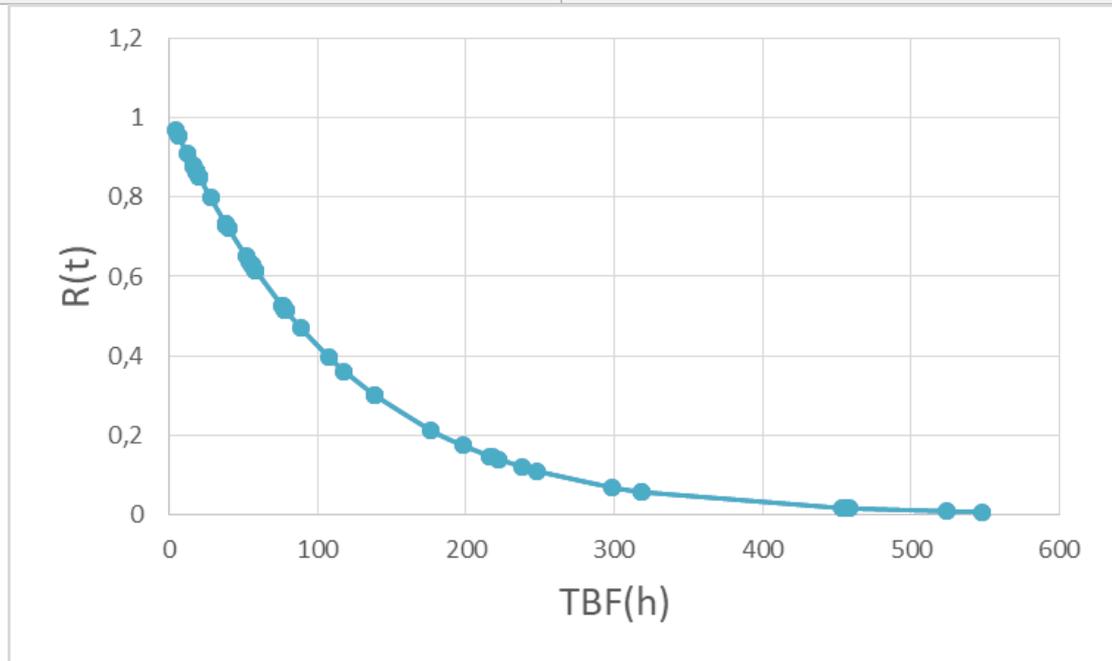


FIG IV. 6. La Courbe De la Fonction Fiabilité

On remarque que le graphe de $R(t)$ décroît rapidement au cours des premiers temps. En général, nous souhaitons une courbe de fiabilité qui décroît lentement c.à.d. qu'on maintient un niveau de fiabilité assez important avec le temps. Dans notre cas ceci, n'est vrai. Le fait de trouver une valeur de $R(t)$ de seulement 38% n'est un bon indicateur de fiabilité pour la grenailleuse.

IV.8.1 Le taux de défaillance :

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

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (\text{IV.14})$$

Tableau IV.7. Le taux de défaillance

TBF (h)	$\lambda(t)$
4	0,007667672
6	0,007820077
12	0,008087662
16	0,008201391
16.50	0,00821365
18	0,008248414
18.15	0,008251738
18.30	0,008255035
18.40	0,008257219
18.50	0,008259392
20.20	0,008294712
20.30	0,0082967
20.40	0,00829868
20.50	0,00830065
28	0,008427225
38	0,008553074
38.30	0,00855634
38.40	0,008557423
38.50	0,008558503
40	0,008574396
52	0,008684291
54.50	0,008704107
56	0,008715586

Chapitre IV : Etude de maintenance FMD et AMDEC de la machine

56.30	0,008717847
58.30	0,008732631
58.50	0,008734083
76	0,008845741
76.50	0,008848557
78	0,008856902
78.10	0,008857452
78.20	0,008858003
78.30	0,008858552
78.50	0,008859649
89.10	0,008914287
108	0,008997916
118.20	0,009037419
138.20	0,009106255
138.30	0,009106575
176.30	0,009214518
198	0,009266584
216.30	0,009306432
218.30	0,00931059
222.30	0,0093188
238.20	0,009350101
248.30	0,009368967
298.10	0,009452465
318	0,009482162
318.40	0,00948274
454	0,009647461
456.30	0,009649828
458.40	0,009651979
524	0,009714845
548.10	0,009736073

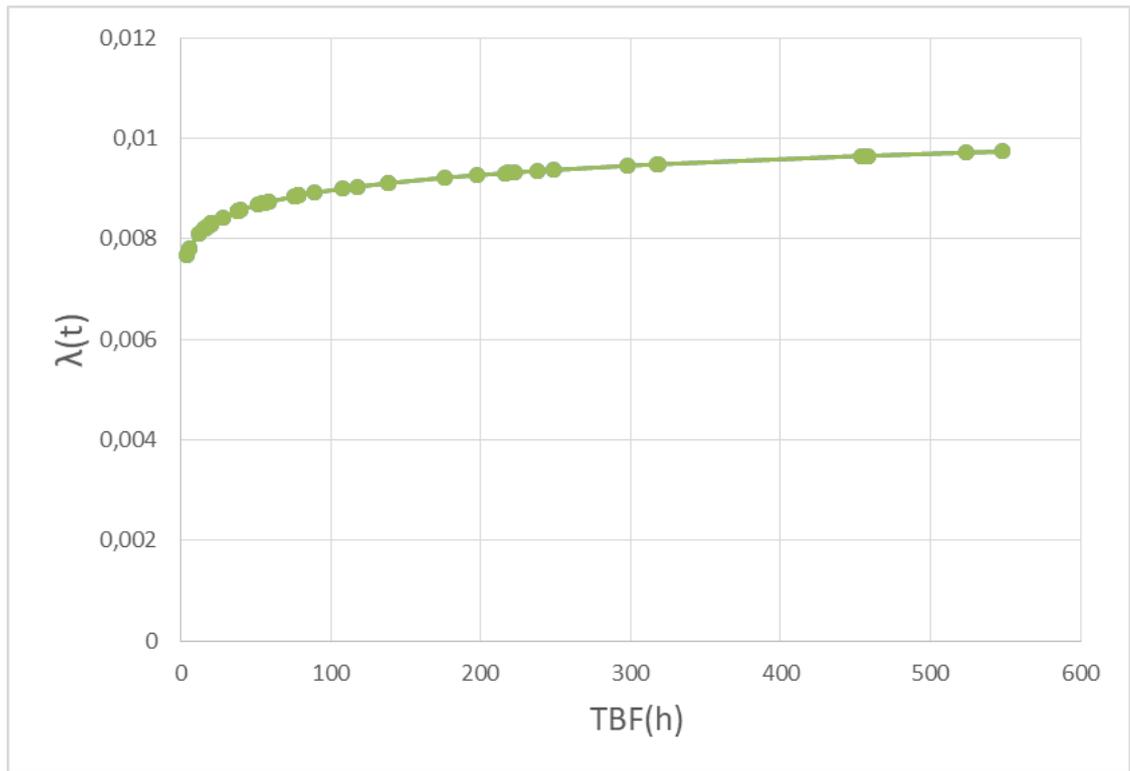


FIG IV. 7. Le courbe taux de défaillance

Le taux de défaillance est croissant en fonction de temps. Cette augmente est normale ; c-à-d elle n'est pas rapide. Par rapport aux données, ce taux reste suffisamment acceptable pour un équipement pouvant subir de l'usure et même des fissures.

IV.9. La Maintenabilité :

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

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad (\text{IV.15})$$

D'après l'historique de panne, on peut calculer la maintenabilité et les résultats de calcul de simulation sont présentés par le tableau (IV.7) et la figure (IV.5).

On a aussi la moyenne du temps de réparation exprimé par :

$$MTTR = \sum TR / N. \quad (\text{IV.16})$$

TR : temps de réparation.

N : nombre de panne.

$$MTTR = 86.7/53 = 1.62h$$

Avec: $\mu = 1/MTTR = 1/1.6245 = 0.6156$ intervention / heure.

Tableau IV. 8. La Maintenabilité

TTTR(h)	M(t)
0,3	0,166732
0,5	0,262139
0,5	0,262139
0,5	0,262139
0,5	0,262139
0,5	0,262139
0,5	0,262139
0,5	0,262139
0,5	0,262139
0,5	0,262139
0,6	0,305664
0,6	0,305664
0,6	0,305664
0,6	0,305664
0,6	0,305664
0,6	0,305664
0,6	0,305664
0,6	0,305664
0,6	0,305664
0,6	0,305664
0,6	0,305664
0,6	0,305664
0,8	0,385164
0,8	0,385164
0,8	0,385164
0,8	0,385164
0,8	0,385164
0,8	0,385164
1	0,455561
1	0,455561
1	0,455561
1	0,455561
1	0,455561
1	0,455561
1	0,455561
1	0,455561
1	0,455561
1	0,455561
1	0,455561
1	0,455561
1,5	0,59828
1,5	0,59828
1,5	0,59828
1,5	0,59828
2	0,703587
2	0,703587
2	0,703587
2	0,703587
2,5	0,781288
3	0,838621

4	0,912139
4	0,912139
5,5	0,964705
6	0,973957
6	0,973957
7	0,985821
8	0,99228

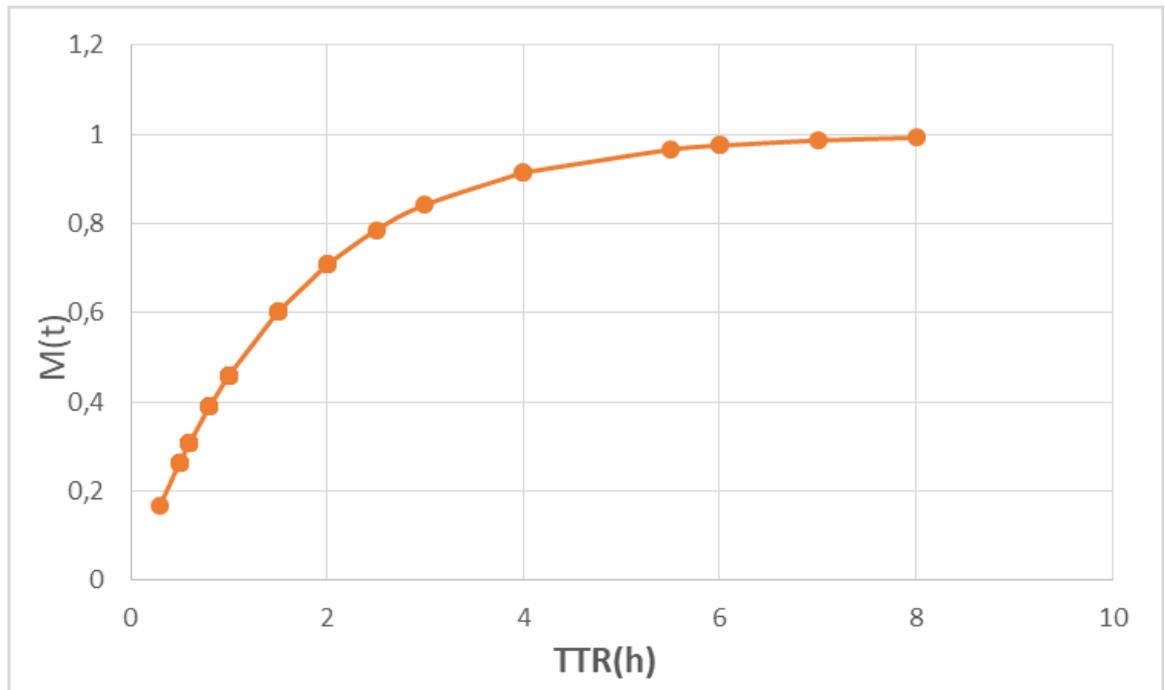


FIG IV. 8. La Courbe de Maintenabilité.

La maintenabilité est croissante en fonction de temps à l'instant TTR= 86.7h, la maintenabilité= 99,23%

IV.10. La disponibilité :

IV.10.1 La disponibilité intrinsèque théorique :

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

$$Di = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{77.785}{77.785 + 1.64} = 0.9793$$

1,5	0,987195
1,5	0,987195
1,5	0,987195
1,5	0,987195
2	0,985031
2	0,985031
2	0,985031
2	0,985031
2,5	0,983446
3	0,982284
4	0,980809
4	0,980809
5,5	0,979772
6	0,979592
6	0,979592
7	0,979364
8	0,979242

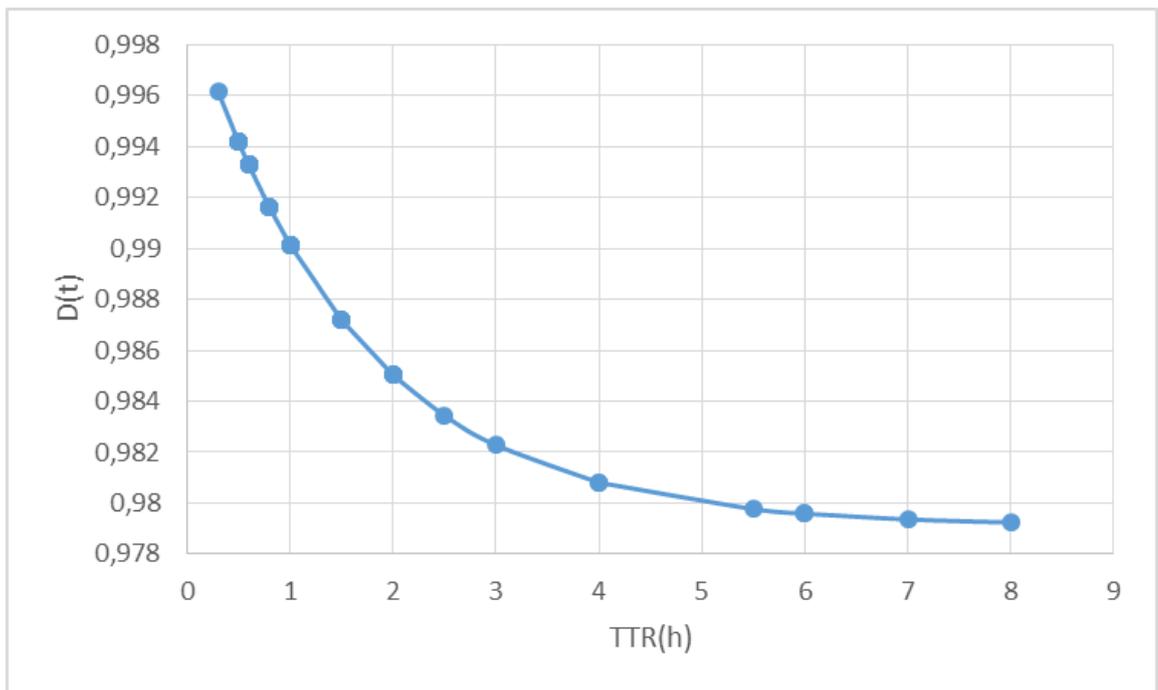


FIG IV. 9. La Courbe Disponibilité instantanée.

La disponibilité est décroissante en fonction de temps, pour augmenter la disponibilité d'une machine consiste à diminuer le nombre de ses arrêts (augmenté sa fiabilité) et réduire le temps nécessaire pour résoudre les causes de ceux-ci (augmenté sa maintenabilité).

IV.11. Analyse de risque :

- **La hiérarchisation (classement par criticité) :**

$$C = F \times D \times G$$

- **Indice de fréquence F :**

Tableau IV.10. Indice de fréquence F

Fréquence	Description
1	1 défaillance maxi par an (Rarement)
2	1 défaillance maxi par trimestre (Régulier)
3	1 défaillance maxi par mois (Souvent)
4	1 défaillance maxi par semaine (Toujours)

- **Indice de gravité G :**

Tableau IV.11. Indice de gravité G

Gravité	Description
1	Pas d'arrêt de la production (Simple)
2	Arrêt ≤ 1 heure (Faible)
3	Heure < arrêt ≤ 1 jour (Haute)
4	Arrêt > 1 jour (Très haute)

- **Indice de non détection D :**

Tableau IV.12. Indice de non détection D.

Non Détection	Description
1	Visite par opérateur (Très rapide)
2	Détection aisée par un agent de maintenance (rapide)
3	Détection difficile (possible)
4	Indécelable (retardée)

IV.12. L'Analyse AMDEC :

Tableau IV.13. L'Analyse AMDEC

Elément	Fonction	Mode de défaillance	Causes de défaillance	Effets de défaillance	Détection	F	D	G	C	Actions correctives
Filtre	Filtre D'air	Filtre Déchiré	Accumulations des chutes et déchets.	Marche Dégradé	Auditif	3	2	3	18	Changement Filtre
Les lames Palette	D'orienter le jet des grains	Usure dans la lame Palette	Expiration condition de la lame	La turbine ne pas fonctionner	Visuel	4	2	3	24	Changement la lame Palette
Manomètre	Indiquer la pression dans les circuits internes	Indication erronée	Dérèglage	N'Indiquer pas la pression	Visuel	1	1	4	4	Changement De Manomètre
Capture de la flèche	Donne un signal d'arrêt à la flèche	Desserrage la fixation de capture -Pas de détection	-vibration -Fatigue du Capteur	La flèche ne vous arrêtez pas	Auditif et Visuel	2	1	3	6	Révision Du capteur
Moto-réducteur	Transmettre la Puissance de la Turbine au réducteur	Echauffement Rupture	-Desserrage des vis D'assemblage -Surcharge - Fatigue Désalignement	-Mauvaise transmission -Usure des paliers -Usure des dents d'engrenages - Vibrations	Visuel	3	2	3	18	Réalignement -Serrage de système de fixation

Chapitre IV : Etude de maintenance FMD et AMDEC de la machine

Les galets de guidage	Centraliser la tête à l'intérieur de tube	-Usure dans les roulements du galet - Desserrage support de la fixation	- Expiration condition de roulement du galet - Vibrations -Manque De serrage	-Mauvais Fonctionnement -Arrête Le chariot Finale	Visuel	4	3	4	48	-Changement des roulements -Assurer une Bonne Lubrification -Serrage de système de fixation
Les Conduites Hydrauliques	Etablir la liaison Hydraulique	Fuites	Fatigue	Arrêt machine	Visuel	2	2	2	8	Resserrer où Changement Les tuyaux
Flèche	Alimentation la machine et recyclage les grains	Blocage du Pied d'alimentation -Fissuration au niveau la Fixation -Tondage de bande de flèche	-Présence des pièces étranger -La fatigue	Arrêt Alimentation de la machine et le recyclage des grains	Visuel	4	3	3	36	- Déblocage vis Archimède - Réparation de la machine - Réglage de Bande de flèche

Chapitre IV : Etude de maintenance FMD et AMDEC de la machine

Les joints	Étanchéité	-Fuit extérieur - Usure dans le joint	La fatigue	-Éclatement - Sortie d'air	Visuel	2	2	3	12	Changement les Joint
Moteur électriques des cabines (1 et 2)	Installation tube et assurée la rotation avec réception et injection tube	-Rupture Echauffement	-Désalignement -Desserrage des vis D'assemblage -Surcharge	-Dégradation de Fonctionnement des Moteur électriques - Mauvaise Transmission - Vibrations	Visuel	3	3	3	27	-Réalignement - Serrage de système de fixation
Clapet	Empêcher l'écoulement de l'eau	Ne se ferme pas Correctement	un mauvais Réglage du Jeu de clapet	-manque de Volume et de Pression d'eau	Visuel	2	1	3	6	-Remplacement De clapet -Vérifier les Jeux des clapets
Groupe Hydraulique	Assurer La commode Hydraulique	Fuite externe	La fatigue	Arrête La pompe	Visuel	4	2	3	24	Surveillance continue (Maintenance Préventive)

IV.13. La hiérarchisation (classement par criticité) :

Les précautions découlent d'une variété de problèmes potentiels qui doivent être pris en compte. Donc besoin d'un Hiérarchie, qui permet de catégoriser les modes de défaillance et d'organiser séquentiellement leur traitement important. La priorisation selon le niveau de criticité détermine les actions prioritaires. Efficace, Il s'agit d'une liste de projets ou de processus clés. Le tri se fait généralement par ordre décroissant Répartis en quatre catégories :

Tableau IV.14. Classe de criticité

NIVEAU DE Criticité	ACTIONS CORRECTIVES A ENGAGER
$1 < C < 10$ Criticité négligeable	Aucune modification de conception Maintenance corrective
$10 \leq C < 20$ Criticité moyenne	Amélioration des performances de l'élément Maintenance préventive systématique
$20 \leq C < 40$ Criticité élevée	Révision de la conception du sous-ensemble et du choix des éléments Surveillance particulière, maintenance préventive conditionnelle / prévisionnelle
$40 \leq C < 50$ Criticité interdite	Remise en cause complète de la conception.

Cette catégorisation permet d'ajuster les mesures de prévention dont la priorité varie selon la catégorie :

Tableau IV.15. Classement décroissant par priorité

Élément	Valeurs de la criticité	Politique de la maintenance
Les galets de guidage	48	Remise en cause complète de la conception.
Flèche	36	Révision de la conception du sous-ensemble et du choix des éléments Surveillance particulière, maintenance préventive conditionnelle / prévisionnelle
Moteur électriques des cabines (1 et 2)	27	
Groupe Hydraulique	24	
Les lames Palette	24	
Moto-réducteur	18	Amélioration des performances de l'élément Maintenance préventive systématique
Filtre	18	
Les joints	12	
Les Conduites Hydrauliques	8	Aucune modification de conception Maintenance corrective
Capture de la flèche	6	
Clapet	6	
Manomètre	4	

IV.14. Recommandations :

Après avoir analysé les sous-systèmes et interprété les résultats, nous sommes en mesure de présenter des solutions et des recommandations pour les composants afin de réduire leur taux d'occurrence élevé, ce qui entraînera une réduction de la criticité. Le tableau suivant présente les solutions proposées :

J= jour \ M = mensuel \ T = trimestrielle \ S = semestrielle \ A = annuelle

Tableau IV.16. Plan de maintenance préventive

Machine : Grenailleuse intérieure							
Opération exécutable en fonctionnante		Fréquence					Observations
Elément	Operations	J	M	T	S	A	
Les galets de guidage	-Assurer une Bonne Lubrification -Serrage de système de fixation	X					-Auditif -Visuel
Flèche	-Vérification de Flèche -Serrage de système de fixation		X				Visuel
Moteur électriques des cabines (1 et 2)	-Réalignement - Serrage de système de fixation		X				Visuel
Groupe Hydraulique	Vérifier la qualité et niveau de huile dans le système de lubrification		X				Les caractéristiques D'huile (Visuel)
Les lames Palette	Changement la lame Palette			X			Visuel Auditif
Moto-réducteur	Réalignement -Serrage de système de fixation			X			Visuel
Filtre	Nettoyer la cartouche de filtre		X				Visuel
Les joints	Vérifier les Joints			X			Visuel

IV.15. Conclusion :

En utilisant des méthodes FMD et AMDEC dans analyser la machine, nous avons donné quelques conseils pour estimer la fiabilité, La maintenabilité et la disponibilité de cette machine et évitez toute interruption de la maintenance.

Conclusion Générale

Le but de cette recherche est d'optimiser la maintenance d'une grenailleuse intérieure dans l'usine ALFAPIPE en utilisant la méthode AMDEC ainsi que la FMD (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité). Ce sujet revêt une grande importance pour cette unité car il offrira l'opportunité d'améliorer les performances, la disponibilité et l'efficacité de l'équipement.

Nous avons examiné les notions générales et les concepts de base de la maintenance, en mettant en évidence sa définition et ses avantages. Les différents types, opérations et niveaux de maintenance ont été clairement expliqués, en mettant l'accent sur la sécurité opérationnelle et en fournissant une description paramétrique détaillée.

L'historique de panne de la machine choisie nous a permis de calculer les temps de Bon fonctionnement (TBF) selon le mode d'emploi de cette machine et le temps de réparation (TTR) pendant trois ans (2023/2022/2021). On a utilisé le papier de Weibull pour tracer la courbe de la fonction de répartition en fonction du temps de bon fonctionnement. Cette courbe a facilité d'extraire les paramètres de méthode de Weibull, et on trouve que : $\beta= 1.04854$, $\eta=116.122$, $\gamma=0$. $\lambda(t)$ pour vérifier quelle méthode acceptée pour calculer la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité.

D'après les résultats obtenus, on a conclu que la fiabilité de la machine $R(t) = 38 \%$ est très faible à cause de l'adoption seulement par la maintenance corrective, et l'augmentation du temps d'arrêt.

Enfin, il est essentiel d'établir un calendrier de contrôle pour les composants regroupés dans la zone A de la courbe ABC afin de prévenir les arrêts soudains. Une stratégie de maintenance préventive appropriée devrait également être mise en place, en veillant à ce qu'un stock de pièces les plus usées soit disponible en tout temps. Toutes ces mesures visent à améliorer la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité de la machine.

Références Bibliographiques

- [1] S.bensaada et D.feliachi, La Maintenance Industrielle, Office des publications universitaires, 2002.
- [2] Bank historique du département de la maintenance, ALFAPIPE, Tuberie Ghardaïa. .
- [3] ZERBANI Abdelkader ; Étude Technique Et Optimisation De La Maintenance Préventive De La Machine De chanfreinage , Mémoire de fin d'étude , Université de Ghardaïa , 2021
- [4] ABBOUNA Mustafa & HABIRECHE Salah ; Optimisation de la maintenance par la méthode AMDEC et FMD d'un banc hydrostatique, Mémoire de fin d'étude, Université de Ghardaïa 2022
- [5] BOUHBILA Hamza, Analyse des resultats des 4 types d'essais mécanique normales, Mémoire de fin d'étude, université de badji mokhtar annaba, 2016
- [6] Ibrahim Sow et papa Abdou mbaye ;(ANALYSE ET ÉVALUATION DU SYSTÈME DE MAINTENANCE PAR G.M.A.O DES I.C.S SITE ACIDES), projet de fin d'études, En vue de l'obtention du diplôme D'ingénieur de conception (D.I.C) En génie mécanique, Université Cheikh Anya Diop de Dakar, 2004.
- [7] J,Schutz; (Contribution à l'optimisation des plans d'exploitation et de maintenance, selon une approche basée sur le pronostic : application au domaine naval. Ph.D. thésis, Université Paul Verlaine- Metz, 2009.
- [8] BELLAOUAR Ahmed et BELEULMI Salima ; Fiabilité Maintenabilité Disponibilité, Algérie, Université Constantine1, Département Génie des Transports,2014.
- [9] Dr. Karim.Bourouni, cour maintenance industriel, Ecole nationale d'ingénieurs de Tunis, Septembre2014.
- [10] BELGOMRI Abderrahmane et MAHDI Sid Ali ; Etude de la maintenance préventive D'un compresseur à vis ATLAS COPCO GA15, Mémoire de fin d'études, Université kasdi merbah Ouargla,2021.

- [11] MERZOUG.H; cours Maintenance Industrielle, Université de Ghardaïa, 2020.
- [12] BELHOMME.A; Cours de stratégie de maintenance, 2011.
- [13] MERZOUG.H; cours de fiabilité, Université de Ghardaïa, 2020.
- [14] BEGGAT Amara et NECERA Abdelkarim ; étude thermodynamique maintenance et fiabilité d'un turbine à gaz MS 500 2C, mémoire de Master, Université kasdi merbah Ouargla, 2011.
- [15] AMARI Faris et SAMAH Mohammed Aymen ; Utilisation et traitement des données incomplètes pour l'étude des actions de maintenance dans les systèmes industriels : modèles de régression et d'interpolation, Projet de Fin d'Études, Université Mohamed seddik Ben Yahia Jijel,2021
- [16] DACHI Mohamed Laid et BOULIFA Khair-Eddine ; Etude FMD d'un treuil de forage au niveau d'un chantier de l'entreprise nationale de forage, Mémoire de fin d'étude, Université kasdi merbah Ouargla,2021.
- [17] CHAHBOUNE Sofiane et HAMMOU Rahma ; étude de la fiabilité et de la disponibilité des équipements au niveau de l'entreprise MAC-SOUM, Mémoire de Fin de Cycle, Université Abderrahmane MIRA- Béjaïa,2016.
- [18] KELADA.J ; cours de L'AMDEC, École des HEC, 1998.
- [19] HERROU Brahim HERROU, EL GHORBA Mohamed ; L'AMDEC un outil puissant d'optimisation de la maintenance, application à une moto compresseur d'une PME marocaine- Ecole Nationale Supérieure d'Electricité et de Mécanique, Casablanca, Morocco 2005.
- [20] Selmers. Manuel Technique, Grenailleuse Intérieure, Projet 448 Alfa pipe Algérie.

ANNEXES

β	A	B	β	A	B	β	A	B	β	A	B
0,05	2,43290E+18	9,03280E+23	1,75	0,89062	0,52523	3,45	0,89907	0,28822	5,15	0,91974	0,20505
0,1	3,62880E+06	1,55977E+09	1,8	0,88929	0,51123	3,5	0,89975	0,28473	5,2	0,92025	0,20336
0,15	2,59357E+03	1,21993E+05	1,85	0,88821	0,49811	3,55	0,90043	0,28133	5,25	0,92075	0,20170
0,2	1,20000E+02	1,90116E+03	1,9	0,88736	0,48579	3,6	0,90111	0,27802	5,3	0,92125	0,20006
0,25	2,40000E+01	1,99359E+02	1,95	0,88671	0,47419	3,65	0,90178	0,27479	5,35	0,92175	0,19846
0,3	9,26053E+00	5,00780E+01	2	0,88623	0,46325	3,7	0,90245	0,27164	5,4	0,92224	0,19688
0,35	5,02914E+00	1,99761E+01	2,05	0,88589	0,45291	3,75	0,90312	0,26857	5,45	0,92272	0,19532
0,4	3,32335E+00	1,04382E+01	2,1	0,88569	0,44310	3,8	0,90379	0,26558	5,5	0,92320	0,19379
0,45	2,47859E+00	6,46009E+00	2,15	0,88561	0,43380	3,85	0,90445	0,26266	5,55	0,92368	0,19229
0,5	2,00000E+00	4,47214E+00	2,2	0,88562	0,42495	3,9	0,90510	0,25980	5,6	0,92414	0,19081
0,55	1,70243E+00	3,34530E+00	2,25	0,88573	0,41652	3,95	0,90576	0,25701	5,65	0,92461	0,18935
0,6	1,50458E+00	2,64514E+00	2,3	0,88591	0,40848	4	0,90640	0,25429	5,7	0,92507	0,18792
0,65	1,36627E+00	2,17887E+00	2,35	0,88617	0,40080	4,05	0,90704	0,25162	5,75	0,92552	0,18651
0,7	1,26582E+00	1,85117E+00	2,4	0,88648	0,39345	4,1	0,90768	0,24902	5,8	0,92597	0,18512
0,75	1,19064	1,61077	2,45	0,88685	0,38642	4,15	0,90831	0,24647	5,85	0,92641	0,18375
0,8	1,13300	1,42816	2,5	0,88726	0,37967	4,2	0,90894	0,24398	5,9	0,92685	0,18240
0,85	1,08796	1,28542	2,55	0,88772	0,37319	4,25	0,90956	0,24154	5,95	0,92729	0,18107
0,9	1,05218	1,17111	2,6	0,88821	0,36696	4,3	0,91017	0,23915	6	0,92772	0,17977
0,95	1,02341	1,07769	2,65	0,88873	0,36097	4,35	0,91078	0,23682	6,05	0,92815	0,17848
1	1,00000	1,00000	2,7	0,88928	0,35520	4,4	0,91138	0,23453	6,1	0,92857	0,17721
1,05	0,98079	0,93440	2,75	0,88986	0,34963	4,45	0,91198	0,23229	6,15	0,92898	0,17596
1,1	0,96491	0,87828	2,8	0,89045	0,34427	4,5	0,91257	0,23009	6,2	0,92940	0,17473
1,15	0,95170	0,82971	2,85	0,89106	0,33909	4,55	0,91316	0,22793	6,25	0,92980	0,17351
1,2	0,94066	0,78724	2,9	0,89169	0,33408	4,6	0,91374	0,22582	6,3	0,93021	0,17232
1,25	0,93138	0,74977	2,95	0,89233	0,32924	4,65	0,91431	0,22375	6,35	0,93061	0,17113
1,3	0,92358	0,71644	3	0,89298	0,32455	4,7	0,91488	0,22172	6,4	0,93100	0,16997
1,35	0,91699	0,68657	3,05	0,89364	0,32001	4,75	0,91544	0,21973	6,45	0,93139	0,16882
1,4	0,91142	0,65964	3,1	0,89431	0,31561	4,8	0,91600	0,21778	6,5	0,93178	0,16769
1,45	0,90672	0,63522	3,15	0,89498	0,31135	4,85	0,91655	0,21586	6,55	0,93216	0,16657
1,5	0,90275	0,61294	3,2	0,89565	0,30721	4,9	0,91710	0,21397	6,6	0,93254	0,16547
1,55	0,89939	0,59252	3,25	0,89633	0,30319	4,95	0,91764	0,21212	6,65	0,93292	0,16439
1,6	0,89657	0,57372	3,3	0,89702	0,29929	5	0,91817	0,21031	6,7	0,93329	0,16332
1,65	0,89421	0,55635	3,35	0,89770	0,29550	5,05	0,91870	0,20853	6,75	0,93366	0,16226
1,7	0,89224	0,54024	3,4	0,89838	0,29181	5,1	0,91922	0,20677	6,8	0,93402	0,16121