

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'enregistrem

/...../...../...../...../

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'un banc hydrostatique*

Déposer le / 06 / 2022

**Par:**

- ABBOUNA MUSTAFA

- HABIRECHE SALAH

Devant le jury composé de :

Mr LADJAL Boumediene

MAA

Examineur

Univ. Ghardaïa

Mr. BOUKHARI HAMED

MAA

Encadreur

Univ. Ghardaïa

Mr. Mouats sofiane

MCB

Examineur

Univ. Ghardaïa

**Année universitaire : 2021/2022**

## ***REMERCIEMENTS***

Finally, c'est grâce à **Dieu** le tout puissant que nous Cueillons aujourd'hui le fruit de plusieurs années d'études Sans Relâche aucune Et sans désespoir aucun.

C'est à lui seul que nous devons la force et le courage qui Ne nous a jamais trahis pour atteindre notre objectif qu'il Soit loué Et remercié en premier DieuA Notre Maitre et encadreur

### **Mr. BOUKHARI HAMED**

On le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Nous tenons à remercier monsieur **FEKHAR MOUSTAFA** ingénieur en hydraulique pour sa disponibilité et ses conseils et aussi ses suivis qui aide nous pour comprend beaucoup chose à ce stage et aussi facile pour nous à obtenir les informations nécessaires pour la rédaction de mémoire.

Nos remerciements sincères vont à l'organisation et l'entreprise d'ALFAPIPE à tous les employés qui y travaille, Pour leur patience avec nous qui permis d'effectuer notre projet de fin d'étude et de continuer Notre préparation de cette mémoire.

## *DEDICACE*

Nous dédions ce modeste travail à :

Ma mère et mon père, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

A mes chères sœurs pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral,

A mes chers frères pour leur appui et leur encouragement,

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,

A mes très chers amis Il me serait difficile de vous citer tous, vous êtes dans mon cœur, affectueusement.

À tous ceux qui nous soutiennent tout au long de ce mémoire

L'encadreur et le groupe d'ALFAPIPE

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués

Et le fruit de votre soutien infaillible,

Merci d'être toujours là pour moi.

## Résumé

Les industriels trouvent des solutions pour augmenter leur production et accélérer l'arrivée de leurs produits Via des solutions rapides

Les objectifs que nous avons étudiés à propos de la machine sont d'améliorer la faisabilité, la fiabilité et la disponibilité maintenabilité des machines de fabrication de tubes alfa pipe

Je vous guiderai avec une étude approfondie au niveau dont nous avons besoin, je vous dirai en réduisant les temps d'arrêt et en augmentant les temps de fonctionnement.

**Les mots clés :** la fiabilité, maintenabilité, disponibilité, Temps d'arrêt, temps de bon fonctionnement

## ملخص

اصبحت الشركات الصناعية تقوم بإيجاد حلول من اجل زيادة الانتاج وسرعة في وصول منتجاتها عبر حلول السريعة. الاهداف التي قمنا بدراستها حول الالة لتحسين جدوى وموثوقية قابلية الصيانة وتوافر ماكينات تصنيع أنابيب alfa pipe وذلك بالدراسة شاملة على مستوي احتاجتنا اليها وذلك بالتقليل وقت التوقف وزيادة اوقات التشغيل. **الكلمات المفتاحية:** الموثوقية، قابلية الصيانة، والتوافر، الصيانة الوقائية الروتينية، وقت التوقف، وقت التشغيل.

## Abstract

Industrial companies are finding solutions in order to increase production and speed up the arrival of their products Via Quick Solutions

The goals we have studied about the machine are to improve the feasibility, reliability and availability of alfa pipe tube making machines

I will guide you with a comprehensive study at the level we need, I will tell you by reducing the downtime and increasing the operating times

**Key words:** the reliability, maintainability, availability, Down time, up time.

## Table des matières

<b>REMERCIEMENTS</b> .....	2
<b>DEDICACE</b> .....	3
<b>RESUME</b> .....	4
<b>INTRODUCTION GENERALE:</b> .....	1
<b>CHAPITRE I : PRESENTATION DE L'ENTREPRISE ALFA PAIPE</b> .....	3
<b>I.1. VUE GENERALE SUR L'UNITE ALFA PIPE :</b> .....	3
<b>I.2. DEVELOPPEMENT DE TUS GHARDAÏA :</b> .....	4
<b>I.3. DOMAINE D'ACTIVITE DE L'ENTREPRISE :</b> .....	5
<b>I.4. CERTIFICATIONS :</b> .....	5
<b>I.5. SITUATION GEOLOGIQUE :</b> .....	6
<b>I.6. DESCRIPTION DE PROCEDURE DE FABRICATION :</b> .....	6
<b>I.7. SCHEMA SYNOPTIQUE DE LA PROCEDURE DE FABRICATION DES TUBES :</b> .....	11
<b>I.8. SCHEMA GENERALE DE D'ENTREPRISE ALFA PIPE :</b> .....	12
<b>I.9. CONCLUSION:</b> .....	12
<b>CHAPITRE II : LA MAINTENANCE ET LEUR METHODES UTILISE (FMD/ AMDEC)</b> .....	14
<b>II.1. INTRODUCTION :</b> .....	14
<b>II.2. LA MAINTENANCE :</b> .....	14
<b>II.3. OBJECTIFS DE LA MAINTENANCE :</b> .....	14
<b>II.4. LES METHODES DE LA MAINTENANCE :</b> .....	14
<b>II.5. OPERATIONS DE LA MAINTENANCE PREVENTIVE :</b> .....	17
<b>II.6. LES 5 NIVEAUX DE MAINTENANCE :</b> .....	18
<b>II.7. LES TEMPS DE MAINTENANCE:</b> .....	19
<b>II.8. FIABILITE, MAINTENABILITE ET DISPONIBILITE (FMD) DU SYSTEME :</b> .....	20
<b>II.9. MAINTENABILITE :</b> .....	26
<b>II.10. DISPONIBILITE :</b> .....	28
<b>II.11. AMDEC :</b> .....	30

<b>CHAPITRE III : GENERALITE SUR MACHINE BANC D’ESSAI HYDROSTATIQUE .....</b>	<b>34</b>
<b>III.1. DEFINITION DE LA MACHINE :.....</b>	<b>34</b>
<b>III.2. DONNEES DE LA MACHINE M24 : .....</b>	<b>34</b>
<b>III.3. BUT DE LA MACHINE :.....</b>	<b>35</b>
<b>III.4. LES AVANTAGES DE LA MACHINE : .....</b>	<b>35</b>
<b>III.5. LES INCONVENIENT DE LA MACHINE : .....</b>	<b>35</b>
<b>III.6. INSTALLATION ET CHANGEMENT DE DIMENSIONS : .....</b>	<b>36</b>
<b>III.7. DECLENCHEMENT A LA FIN DU TRAVAIL :.....</b>	<b>40</b>
<b>III.8. DEROULEMENT DE TRAVAIL : .....</b>	<b>40</b>
<b>III.9. FONCTIONNEMENT : .....</b>	<b>42</b>
<b>III.10. SECURITE: .....</b>	<b>43</b>
<b>III.11. CONCLUSION : .....</b>	<b>43</b>
<b>CHAPITRE IV : ETUDE DE MAINTENANCE FMD ET AMDEC DE LA MACHINE.....</b>	<b>45</b>
<b>IV.1. INTRODUCTION : .....</b>	<b>45</b>
<b>IV.2. EXPLOITATION DE L’HISTORIQUE:.....</b>	<b>45</b>
<b>IV.3. APPLICATION PRATIQUE DES METHODES D’ANALYSE : .....</b>	<b>47</b>
<b>IV.4. CALCUL LES PARAMETRES DE WEIBULL : .....</b>	<b>48</b>
<b>IV.5. LA METHODE DES MOINDRES CARRES :.....</b>	<b>49</b>
<b>IV.6. EXPLOITATION LES PARAMETRES DE WEIBULL :.....</b>	<b>50</b>
<b>IV.7. ÉTUDE DE MODELE DE WEIBULL : .....</b>	<b>51</b>
<b>IV.8. CALCUL LA DISPONIBILITE DI: .....</b>	<b>57</b>
<b>IV.9. ANALYSE DE RISQUE : .....</b>	<b>58</b>
<b>IV.10. L’ANALYSE AMDEC : .....</b>	<b>59</b>
<b>IV.11. LA HIERARCHISATION (CLASSEMENT PAR CRITICITE) .....</b>	<b>64</b>
<b>IV.12. RECOMMANDATIONS :.....</b>	<b>65</b>
<b>IV.13. CONCLUSION .....</b>	<b>66</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES : .....</b>	<b>68</b>

## Liste des tableaux

Tableau IV. 1. Dossier historique de la Banc d'essais hydrostatique.....	45
Tableau IV. 2. L'analyse ABC (Pareto) .....	47
Tableau IV. 3. Fonction de réparation réel .....	49
Tableau IV. 4. La fonction de la densité de probabilité.....	52
Tableau IV. 5. Fonction de répartition .....	53
Tableau IV. 6. La fiabilité .....	54
Tableau IV. 7. Le taux de défaillance.....	55
Tableau IV. 8. Tableau de disponibilité instantané .....	57
Tableau IV. 9. Indice de gravité .....	58
Tableau IV. 10. Indice de fréquence F .....	58
Tableau IV. 11. Indice de détection D.....	58
Tableau IV. 12. AMDEC .....	59
Tableau IV. 13. Classe de criticité .....	64
Tableau IV. 14. Classement décroissant par priorité .....	64
Tableau IV. 15. Plan de maintenance préventive.....	65
Tableau IV. 16. Annex.....	70

## LES FIGEUR DE CHAPITRE I

FIG I. 1. Vue générale sur l'unité ALFA PAIPE .....	4
FIG I. 2. Certafica .....	5
FIG I. 3. Machine à souder. ....	6
FIG I. 4. Contrôle visuel.....	7
FIG I. 5. Contrôle radioscopique.....	7
FIG I. 6. Banc d'essai hydrostatique.....	8
FIG I. 7. Contrôle radiographique .....	8
FIG I. 8. Examen ultra-sons.....	9
FIG I. 9. revêtement intérieur.....	10
FIG I. 11. Schéma synoptique de la procédure de fabrication des tubes.....	11
FIG I. 12. Schéma générale de d'entreprise ALFA PIPE .....	12

## LES FIGEUR DE CHAPITRE II

FIG II. 1. Les Temps De Maintenance.....	15
FIG II. 2. Les Temps De Maintenance.....	19
FIG II. 3. Taux de défaillance instantané .....	21
FIG II. 4. Système en série .....	25
FIG II. 5. Système en parallèle .....	26
FIG II. 6. La variation de disponibilité d'un système.....	30

## LES FIGEUR DE CHAPITRE III

FIG III. 1. Tête de remplissage .....	36
FIG III. 2. Chariot de serrage et réception de tubes .....	37
FIG III. 3. Chariot finale.....	37
FIG III. 4. Pompes de remplissage .....	38
FIG III. 5. Compresseur .....	39
FIG III. 6. Pompes principales pour les vérins et Pompe de circulation .....	40
FIG III. 7. Temps d'épreuve .....	43



## LES FIGEUR DE CHAPITRE IV

<b>FIG IV. 1. La Courbe d'ABC.....</b>	<b>48</b>
<b>FIG IV. 2. page de calcul on Excel.....</b>	<b>50</b>
<b>FIG IV. 3. Papier de WeiBull sur logiciel Matlab .....</b>	<b>50</b>
<b>FIG IV. 4. La Courbe Densité De Probabilité .....</b>	<b>52</b>
<b>FIG IV. 5. Courbe De Fonction Répartition.....</b>	<b>53</b>
<b>FIG IV. 6. Le courbe taux de défaillance .....</b>	<b>55</b>
<b>FIG IV. 7. La Courbe de Maintenabilité.....</b>	<b>56</b>
<b>FIG IV. 8. disponibilité instantané .....</b>	<b>57</b>

## Liste des abréviations explicitées

**TTR** : Temps de réparation

**TBF** : Temps de bon fonctionnement

**UT** : Temps entre défaillances

**R(t)** : Fonction de fiabilité

**F(t)** : Fonction de défaillances

**f(t)** : Densité de probabilité

**$\lambda(t)$**  : Taux de défaillance

**MUT** : Moyenne temps entre défaillance

**MTTR** : Moyenne de temps de réparation

**$\mu$**  : temps de réparation

**MTBF** : Moyenne de Temps de bon fonctionnement

**F** : Fiabilité

**M** : Maintenabilité

**D** : Disponibilité

**$\beta$**  : Paramètre de forme

**$\gamma$**  : Paramètre de position

**$\eta$**  : Paramètre d'échelle

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

## **Introduction Générale :**

La fabrication des tubes aujourd'hui jouer un rôle très important pour le domaine de l'industrie, il est considéré comme un moyen essentiel de transport les fluides qui utilisé pour obtenir l'énergie nécessaire de notre vie comme l'eau, gaz et le pétrole principalement.

Aujourd'hui, nous parlerons à propre l'usine d'ALFAPIPE GHARDAIA qui considéré une société par action du groupe des industries métallurgiques et sidérurgiques IMETAL. Elle est leader Algérien dans la fabrication et la commercialisation de tubes en acier soudé en hélicoïdale à l'arc sous flux solide (début de production en 1969).

Afin de pallier les aléas d'exploitation dans les usines, la gestion de la maintenance a évolué vers la recherche de disponibilités spécifiques, ce qui a conduit à résoudre un grand nombre de problèmes qu'il fallait d'abord identifier, en diagnostiquant les équipements industriels nécessitant une connaissance poussée dès les sciences fondamentales telles que la mécanique, l'électricité, la régulation et l'acoustique et la physique, la chimie et les mathématiques appliquées à la technologie afin de pouvoir créer des modèles pratiques et suivre leur comportement tels que les modes de vibration, les systèmes de fonctionnement, les degrés d'usure et les bilans énergétiques, les systèmes thermodynamiques , de vieillissement et de fiabilité.[ 1]

Dans ce contexte nous mettrons ainsi en avant le banc d'essai hydrostatique R-wp2500 pour :

- Réduisez les temps d'arrêt imprévus.
- Réduisez les coûts de maintenance.
- Réduire le prix de revient du produit.
- Réduire les accidents et des dommages.

Pour découvrir tout cela, nous avons classier en quatre Chapitre :

1. Chapitre I : Pendant les 30 jours de formation que nous avons fait à ALFAPIPE -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).
2. Chapitre II : Au cours de ce chapitre, nous avons fourni un aperçu complet des concepts de maintenance, de fiabilité, de maintenance, de disponibilité et d'Amdec.
3. Chapitre III : Nous étudierons et analyserons les inconvénients et les avantages de la machine Banc d'essai hydrostatique 2500 WP Fabricants et connaître l'importance de la machine dans l'entreprise.

4. Chapitre IV : Nous prenons l'historique des défauts de l'appareil sur une période de 3 ans (2019/2020/2021) Et nous avons faire une étude analytique par l'utilisation De la méthode FMD et AMDEC.

## Chapitre I :

### Présentation de l'entreprise ALFA PAIPE

### **Chapitre I : présentation de l'entreprise ALFA PAIPE**

#### **Introduction:**

Notre stage a été effectué au niveau de l'unité de fabrication des tubes souder en spirale ALFA PIPE GHARDAIA. La société qui nous a choisi est implanté à la zone industrielle de Bounoua à Ghardaïa, à 10km du chef-lieu de wilaya, l'usine occupe une superficie de 23000m<sup>2</sup> et son effectif s'élevé en moyenne à 500 employeurs. Spécialisé dans la production et commercialisation de tube soudé en spirale destine à la construction de pipeline (gazoduc oléoduc), et aux infrastructures de transfert d'eau et travaux publique.

Les puits de pétrole et de gaz se trouvent à proximité de Hassi R'mel et Hassi Massoud, la tuberie spiral (Ghardaïa) ne peuvent pas seul satisfaire les gros besoins de SONATRACH en matière de transport des hydrocarbures. Il a été de céder de créer cette 2eme unité similaire au 1er. La mise en chantier de l'unité a démarré en Avril 1974 par une allemande, et celle entrée en production en 1977 d'une capacité de 120000 tonnes annuelle, d'une équivalence de 375km de tube de 42 pouces de diamètre. Les machines installées dans cette usine peuvent produire des tubes de 16 à 64 pouces de diamètre, 7,92 à 15mm d'épaisseur et d'une longueur de 7à13m. Les bobines sont transportées par voie ferroviaire de Annaba à Touggourt ou elles stockées dans un dépôt d'une capacité de 40000 tonnes, pour être transporté par camion SNTR jusqu'au GHARDAIA (350km). Le transport constitue pour limiter un goulot d'étranglement qui gêne par fois les paramètres de production. [2]

#### **I.1. Vue générale sur l'unité ALFA PIPE :**

La construction des principaux équipements a été confiée aux entreprises étrangères (HOECH principal fournisseur des équipements). L'unité produit une gamme des tubes allant de 16 à 64 pouces (406.4 à 1625.6mm), de 7 à 20 mm d'épaisseur et 7 à 16 m de longueur (la demande a exigé jusqu'à présent 13m de longueur max) Q1-0403 et ISO 9001.



**FIG I. 1.**Vue générale sur l'unité ALFA PAIPE

## **I.2. Développement de TUS Ghardaïa :**

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 SNTTP (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 automatisés l'unité de production et celle de revêtement extérieur.

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

**I.3. Domaine d'activité de l'entreprise :**

L'entreprise ALFA PIPE transforme les bobines en tubes spirales pour transporter le pétrole, le gaz, l'eau et tous autres liquides sous haute pression.

**Pipe-line :**

- Oléoducs (transport du pétrole)
- Gazoducs (transport du gaz)
- Hydraulique

**Transport d'eau :**

- Alimentation en eau potable
- Infrastructure hydraulique
- Assainissement (Ségou)
- Drainage

**I.4. Certifications :**



FIG I. 2. Certifica



### **I.5. Situation géologique :**

L'entreprise ALFAPIPE/TUS-GHARDAIA est une SPA spécialisée dans la fabrication de tube de grand dimension, elle se situe à environ 600Km au sud d'Alger.

Elle fait partie de la zone industrielle de la daïra de Bounoura (à 10Km de la wilaya de Ghardaïa).

### **I.6. Description de procédure de fabrication :**

#### **I.7.1. Machine à souder en spirale :**

La machine à souder en spirale sert à fabriquer des tubes à partir des bandes de différentes largeurs et épaisseurs dévidés des bobines, C'est des bandes sont roulées en hélice et sont ensuite soudées intérieurement et extérieurement selon le procédé de soudure en flux.



**FIG I. 3.** Machine à souder.

#### **I.7.2. Contrôle visuel :**

Le but est de contrôler visuellement la qualité de soudure intérieur et extérieur par désargentés professionnelle. S'il existe un défaut le tube sera réparé avant de continuer la fabrication.



**FIG I. 4.** Contrôle visuel

### **I.7.3. Contrôle radioscopique :**

C'est une installation composée d'un tube de rayon porté par un bar de fer et qui entre dans le tube pendant que celui la tourne hélicoïdalement, cela permet la transmission de l'image sur l'écran. A l'aide de cette installation radioscopie, le contrôleur détecte les défauts signalés auparavant et même cause non signalés en marquant exactement sur l'endroit du défaut et décide si le tube peut être dirigé vers la réception finale ou bien il doit être renvoyé à la réparation d'une soudure non admissible ou au tronçonneur pour la coupe, le cas de dédoubleur irréparable.



**FIG I. 5.** Contrôle radioscopique

#### I.7.4. Banc d'essai hydrostatique :

Chaque tube est soumis à une épreuve hydraulique le tube est bloqué entre deux tête remplis d'eau et soumis à l'aide de pompe haute pression à la pression prescrite, qui correspond à une sollicitation qui voisine la limite élastique. La maintenance pendant un temps fixé.



FIG I. 6. Banc d'essai hydrostatique

#### I.7.5. Contrôle radiographique :

Ce contrôle est basé sur l'absorption différentielle du rayonnement X2. Les différences de rayonnement émergeant de la pièce engendrent sur le film une (image latente) Le contrôle radiographique des soudures est effectué dans deux chambres à rayon X2.

Le cordon de soudure est visualisé en totalité par radioscope. Toute fois le repérage de défaut est sanctionné par une prise de clichés.[3]



FIG I. 7. Contrôle radiographique

### **I.7.6. Chanfreinage :**

Les extrémités des tubes sont chanfreinées afin de permettre un raccordement cohérent et efficace entre deux tubes adjacents (chantier de canalisation).

Pour le chanfreinage, le tube est fixé par ses deux bouts, et à l'aide de deux machines tournant disposant d'outils spéciaux usinent, les circonférences des deux extrémités de tube.

### **I.7.7. Examen ultra-sons :**

Est testé par deux palpeurs à ultra-son, disposés de part et d'autre du cordon de soudure, à une distance de 15 cm environ. Ces deux palpeurs gérés par une carte électronique, procèdent par un cycle d'émission et de réception de signaux, pour enfin signaler l'existence ou non d'un défaut de soudure.[3]



**FIG I. 8.** Examen ultra-sons

### **I.7.8. Processus de revêtement intérieur :**

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



**FIG I. 9.** Revêtement intérieur

**1.7.9. Processus de revêtement extérieur :**

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



**FIG I. 10.** Revêtement extérieur

I.7. Schéma synoptique de la procédure de fabrication des tubes :

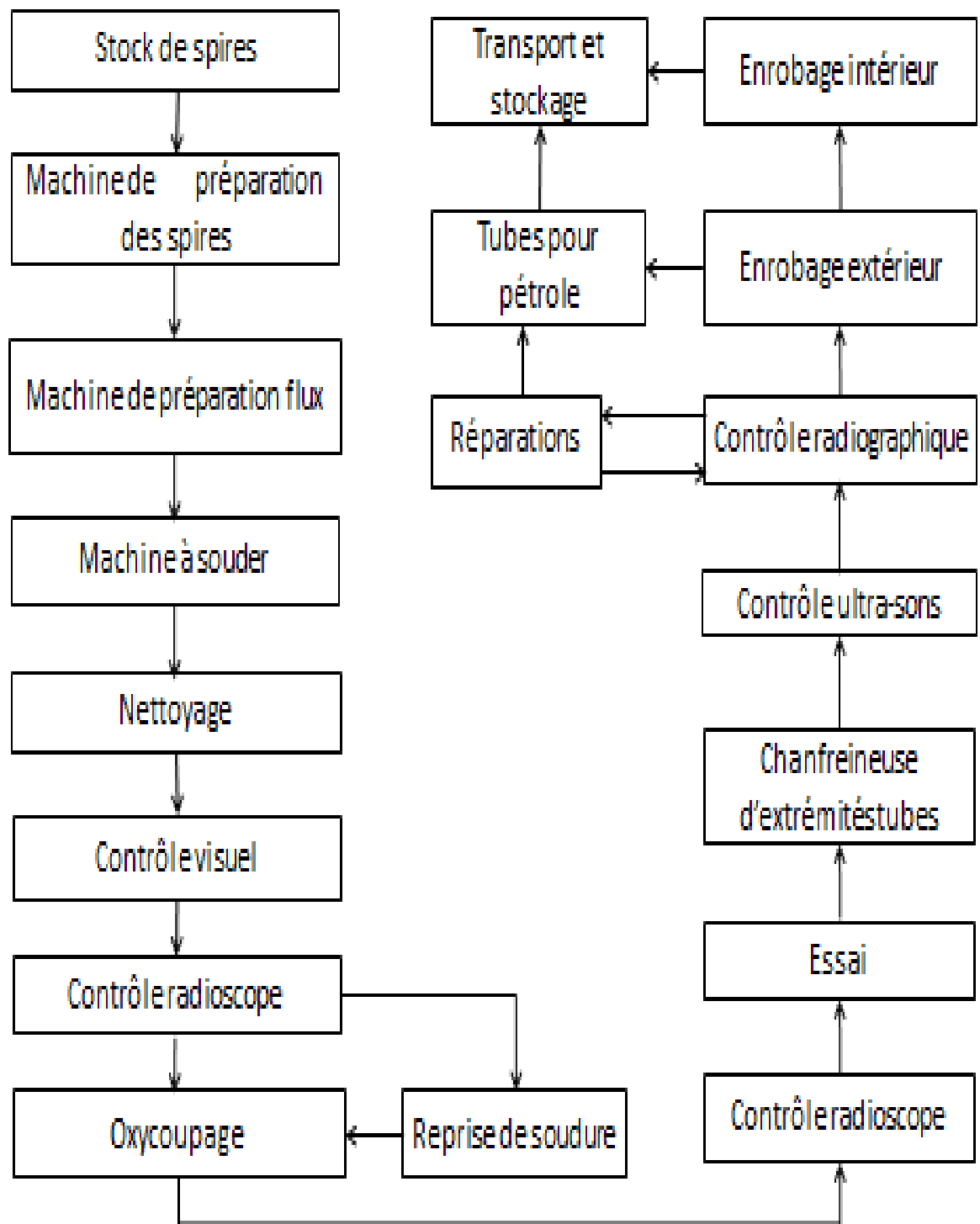
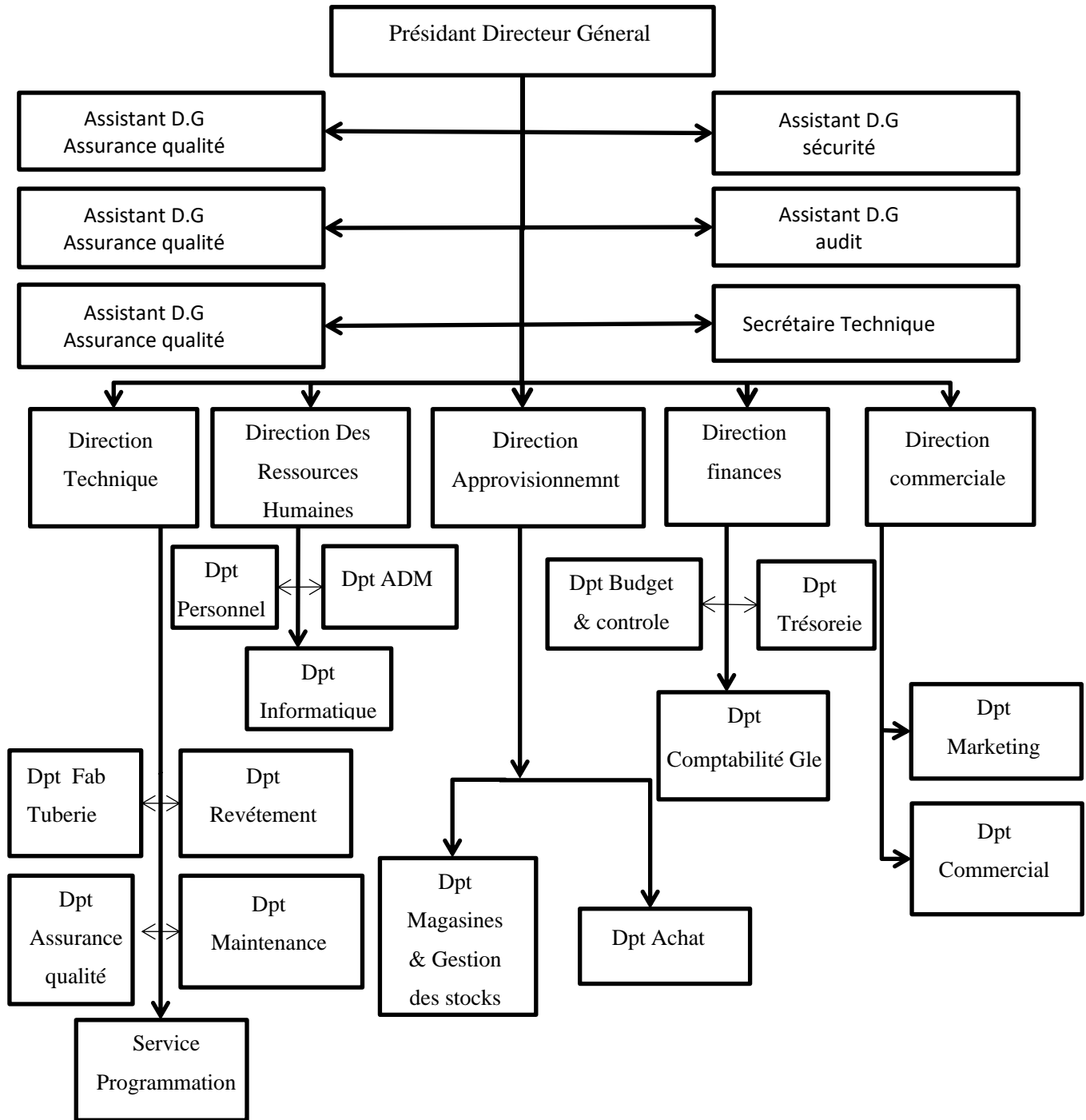


FIG I. 10. Schéma synoptique de la procédure de fabrication des tubes

**I.8. Schéma générale de d'entreprise ALFA PIPE :**



**FIG I. 11.** Schéma générale de d'entreprise ALFA PIPE

**I.9. Conclusion:**

Dans ce chapitre nous avons découvrir l'entreprise.et obtenu d'excellentes informations pour un véritable système de production (système de transport, stockage, processus de fabrication, laboratoires, instrumentation, matériaux divers).

## Chapitre II :

La maintenance et leur méthodes utilisé (FMD/  
AMDEC)



## **Chapitre II : La maintenance et leur méthodes utilisé (FMD/ AMDEC)**

### **II.1. Introduction :**

La maintenance revêt une grande importance dans l'industrie Ils comprennent un certain nombre d'actions réglementaires, qui sont essentielles dans de nombreuses entreprises elle génère également des pertes économiques importantes en termes de temps d'arrêt de la production ainsi que de coûts de réparation et de main-d'œuvre.

Dans ce chapitre, nous présentons un aperçu général sur la maintenance, FMD (Fiabilité, maintenabilité, disponibilité) et AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leur Effets et de leur Criticité).

### **II.2. La Maintenance :**

L'AFNOR a publié la première définition normative de la maintenance en 1994 (Norme NFX 60-010), qui la définissait comme «la collecte des actes nécessaires à la maintenance ou à la restauration d'une propriété à un état déterminé ou de la rendre capable de fournir un service spécifié

Depuis 2001, elle a été remplacée par une nouvelle définition, maintenant européenne (NF EN 13306 X 60-319), Ensemble de toutes les mesures techniques, administratives et de gestion prises pendant le cycle de vie d'un bon maintien ou de la restauration à un état où il peut effectuer la fonction requise.

### **II.3. Objectifs de la maintenance :**

- Assurer la réalisation des niveaux de sécurité, et de fiabilité
- 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
- Augmenter la durée de vie des équipements.
- Diminuer les temps d'arrêt en cas de révision ou de panne

### **II.4. Les Méthodes de la maintenance :**

Le choix des méthodes de maintenance est effectué dans le cadre de la politique de maintenance et doit être effectué en consultation avec le leadership de la société. [4]

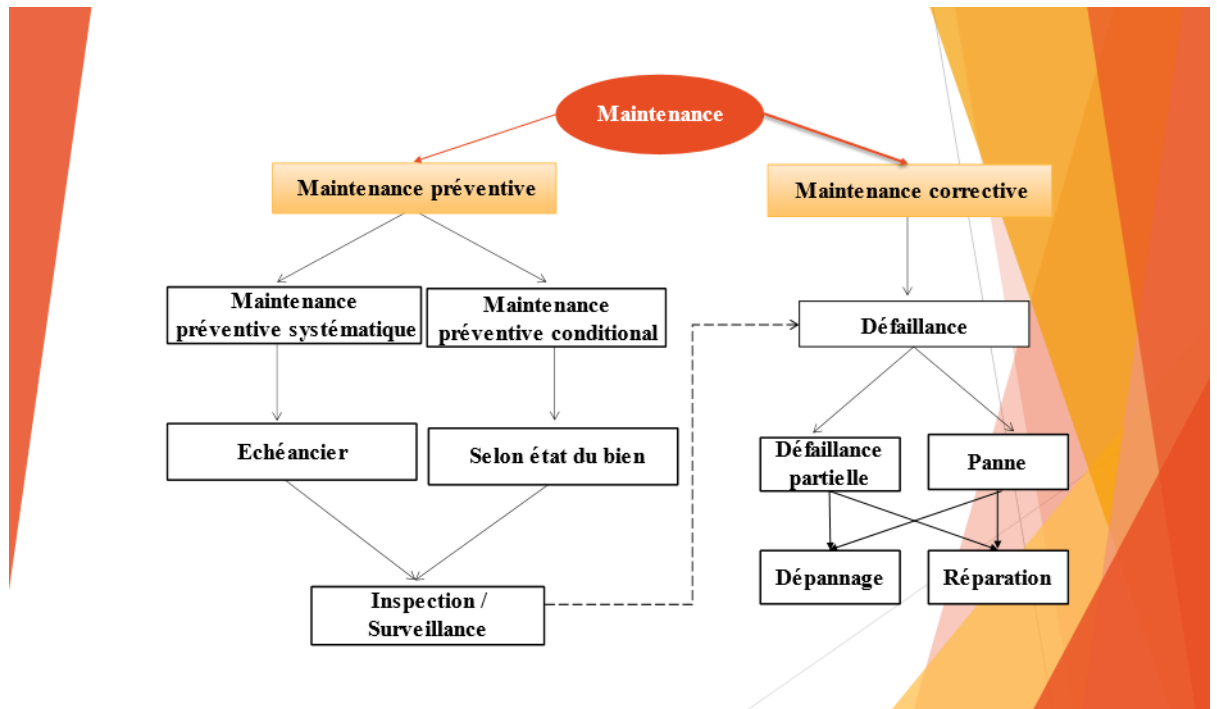


FIG II. 1. Les Types De Maintenance

#### II.4.1. 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 curative et la maintenance palliative

##### II.4.1.1. Maintenance curative :

Ce type de maintenance permet de remettre en état le système après l'apparition d'un dysfonctionnement

##### II.4.1.2. Maintenance palliative :

Ce type de maintenance permet de dépannage temporaire des équipements afin de réduire les interruptions d'activité.[4]

#### II.4.2. La maintenance préventive :

Maintenance effectuée selon des critères prédéterminés, dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu. »

Elle doit permettre d'éviter des défaillances des matériels en cours d'utilisation. L'analyse des coûts doit mettre en évidence un gain par rapport aux défaillances qu'elle permet d'éviter.

Objectifs La maintenance préventive a pour :

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

### **II.4.2.1. Maintenance préventive systématique:**

ce type d'intervention est effectué à des intervalles prédéterminés en se basant sur des compteurs ou des calendriers prédéfinis.

### **II.4.2.2. Maintenance preventive prévisionnelle:**

La maintenance prévisionnelle, également appelée maintenance proactive, est également réalisée à la suite d'une analyse de l'évolution surveillée des paramètres précurseurs de panne qui permettent de qualifier l'état de fonctionnement du système.

### **II.4.2.3. La maintenance préventive conditionnelle :**

Cette maintenance est définie comme étant celle que l'on réalise uniquement lorsque l'état du bien le nécessite. La conséquence immédiate est qu'il est nécessaire de savoir mettre en place des techniques de surveillance de l'état du bien (faisabilité technique et économique) et surtout d'être capable de qualifier de façon précise l'état de ce bien.[5]

### **II.4.3. La maintenance améliorative :**

L'amélioration d'un équipement est un "ensemble de mesures techniques, administratives et de gestion visant à améliorer la sécurité de fonctionnement d'un article sans modifier sa fonction requise". Par conséquent, des modifications sont apportées à la

conception initiale afin d'améliorer la longévité des composants, de les normaliser, de réduire la consommation d'énergie et d'améliorer la maintenabilité, entre autres choses. Ce sont des informations utiles si vous décidez plus tard de construire une machine qui fait le même travail mais avec une technologie plus récente : vous ne rencontrerez pas les mêmes problèmes. [5]

### II.4.3.1. Objectifs de la maintenance améliorative :

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

### II.5. Opérations de la maintenance préventive :

- **Inspection** : contrôle de conformité, réalisé en mesurant, observant, testant ou calibrant les caractéristiques significatives d'un équipement ; elle permet de relever des anomalies et d'exécuter des réglages simples ne nécessitant pas d'outillage spécifique, ni d'arrêt de la production ou des équipements (pas de démontage).
- **Contrôle** : vérification de la conformité avec des données préétablies, suivie d'un jugement. Ce contrôle peut déboucher sur une action de maintenance corrective ou alors inclure une décision de refus, d'acceptation ou d'ajournement.
- **Visite** : examen détaillé et prédéterminé de tout (visite générale) ou partie (visite limitée) des différents éléments d'un équipement et pouvant impliquer des opérations de maintenance du premier et du deuxième niveau ; il peut également déboucher sur la maintenance corrective.
- **Test** : comparaison des réponses d'un système par rapport à un système de référence ou à un phénomène physique significatif d'une marche correcte.
- **Echange standard** : remplacement d'une pièce ou d'un sous-ensemble défectueux par une pièce identique, neuve ou remise en état préalablement, conformément aux prescriptions du constructeur.
- **Révision** : ensemble complet d'examens et d'actions réalisées afin de maintenir le niveau de disponibilité et de sécurité d'un équipement. Une révision est souvent conduite à des intervalles prescrits du temps ou après un nombre déterminé d'opérations. Une révision

demande un démontage total ou partiel. Le terme révision ne doit donc pas être confondu avec surveillance. Une révision est une action de maintenance de niveau. [5]

### **II.6. Les 5 niveaux de maintenance :**

#### **➤ 1<sup>er</sup> niveau :**

Des modifications faciles fournies par le fabricant en y accédant sans aucun démontage ni ouverture de l'équipement, ou en échangeant des éléments accessibles en toute sécurité, tels que des voyants ou certaines vannes.

Ce type d'intervention peut être effectué par le propriétaire de l'usine, sur place.

#### **➤ 2<sup>ème</sup> niveau :**

Le dépannage s'effectue au moyen d'éléments prévus à cet effet et d'opérations de maintenance préventive simples, telles que la lubrification ou la vérification du bon fonctionnement Cette intervention peut être réalisée par un spécialiste agréé et qualifié Sur site, avec des outils portables spécifiés par les instructions de maintenance. Les pièces de rechange peuvent être obtenues à proximité .

#### **➤ 3<sup>ème</sup> niveau:**

L'identification et le diagnostic des dysfonctionnements et des réparations sont effectués par échange de composants ou Pour les éléments fonctionnels, les réparations mécaniques mineures et toutes les opérations de maintenance préventive de routine telles que la modification générale ou la réorganisation des appareils de mesure. Cette intervention est réalisée grâce à la technologie, sur site ou selon les besoins d'une éventuelle réparation, ainsi que l'utilisation des équipements utilisés dans les instructions de maintenance et éventuellement les tests de siège et les équipements de contrôle et est développée à travers des documents qui facilitent le travail.

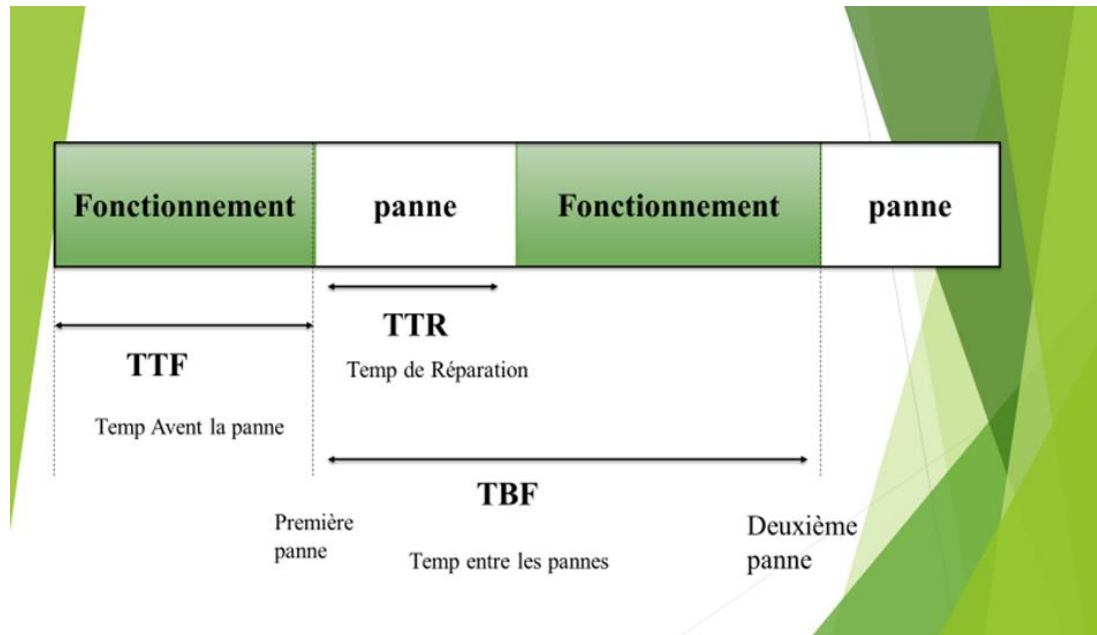
#### **➤ 4<sup>ème</sup> niveau:**

Tous les grands travaux d'entretien correctif ou préventif, à l'exception de la rénovation et de la reconstruction. Ce niveau comprend également le réglage des appareils de mesure utilisés pour la maintenance et, éventuellement, la vérification des normes de travail par des organismes spécialisés. Ce type d'intervention peut être réalisé par une équipe comprenant une supervision technique hautement spécialisée, dans un atelier spécialisé.

➤ 5<sup>ème</sup> niveau :

Rénovation, Breaking ou exécution des réparations importantes confiées à un atelier focal ou à une unité extérieure.

**II.7. Les Temps De Maintenance:**



**FIG II. 2.** Les Temps De Maintenance

**La MTBF :**

La MTBF est la moyenne des temps de bon fonctionnement (TBF).

Un temps de bon fonctionnement est le temps compris entre deux défaillances (norme X60-500)

$$MTBF = \int_0^{\infty} R(T) \quad (\text{II.1})$$

$$MTBF = \frac{\text{somme des temps de fonctionne ment entre les (n) defaillanc e}}{\text{nombre d'interventi on de maintenanc e avec immobilisationn}} \quad (\text{II.2})$$

**La MTTR :**

La MTTR est la moyenne des temps techniques de réparation (TTR). (Norme X60-500)

Le TTR est le temps durant lequel on intervient physiquement sur le système défaillant.

IL débute lors de la prise en charge de ce système jusqu'après les contrôles et essais avant la remise en service.

### **II.8. Fiabilité, maintenabilité et disponibilité (FMD) du système :**

#### **II.8.1. Définition de la fiabilité :**

La fiabilité est l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise ou à satisfaire les besoins des utilisateurs, dans des conditions données, pendant une durée donnée

(AFNOR, 1988). [6]

#### **II.8.2. Différents types de fiabilité :**

##### **II.8.2.1. Fiabilité prévisionnelle :**

La fiabilité prévisionnelle permet d'évaluer la fiabilité d'un composant, d'équipement ou d'un système. Pour ce faire, le comportement de chaque élément de composant est comparé aux modèles mathématiques et physiques de probabilité et de vieillissement. La construction de ces modèles de comportement du point de vue de la fiabilité repose sur le retour de l'expérience et l'exécution des tests.

##### **II.8.2.2. Fiabilité intrinsèque:**

Fiabilité d'un appareil mesuré dans des essais spécifiques selon un protocole d'essai complètement défini (obtenu à partir d'analyses de laboratoire).

##### **II.8.2.3. Fiabilité opérationnelle:**

La fiabilité opérationnelle est mesurée lorsque l'équipement fonctionne normalement et dépend de l'utilisation réelle du système.

#### **II.8.3. Les indicateurs de fiabilité :**

**MTBF :** Le MTBF, qui est généralement exprimé en heures, est un bon indicateur de la fiabilité ou non d'un équipement. Cela peut évidemment être un facteur déterminant pour décider de remplacer ou non un équipement s'il est jugé trop court et provoque des arrêts fréquents, entraînant des pertes de productivité importantes.

**MTTR :** vous permet de voir combien de temps il faut pour réparer une pièce d'équipement sur une période de temps définie. Si cela prend trop de temps, cela peut mettre en évidence

la nécessité de trouver des moyens de simplifier et d'accélérer les opérations de maintenance.

**DO:** Un système de production est dit utilisable lorsqu'il est capable d'accomplir la tâche ou la fonction pour laquelle il a été conçu. Ainsi, la disponibilité dite opérationnelle d'un équipement correspond à la capacité à être réparé en mesurant l'efficacité de sa maintenance.

$\lambda$  : Cet indicateur est évidemment essentiel pour orienter la politique qualité de l'entreprise. Il s'agit de la relation entre le nombre de bonnes pièces et le nombre de pièces produites. Si le service qualité est averti rapidement d'une baisse de qualité, il pourra intervenir dans les plus brefs délais pour mettre en œuvre des mesures correctives. Les implications pour le maintien des niveaux de productivité sont claires.

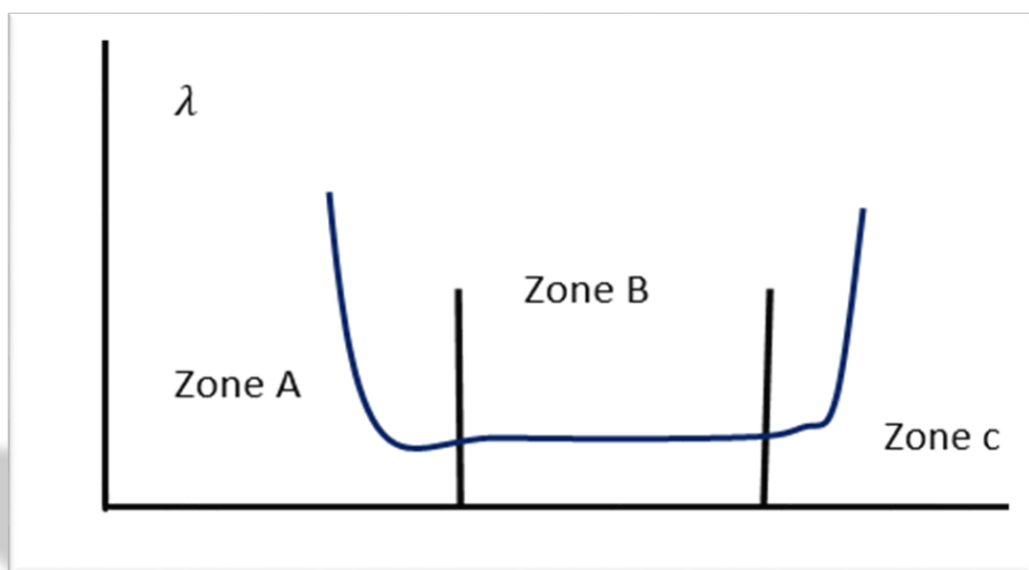
**N:** nombre de panne.[6]

### II.8.3.1. Taux de défaillance instantané:

$$\lambda = (\text{Nombre de défaillance}) / (\text{Durée d'usage})$$

Le taux d'échec constant correspond à des échecs qui se produisent sans cause systématique, comme par hasard. La probabilité de défaillance est la même à chaque instant de la période où est constante

$$\lambda = \frac{\text{nombre total de defaillanc es pendant le service}}{\text{duree total de bon fonctionne ment}} \quad (\text{II.3})$$



**FIG II. 3.** Taux de défaillance instantané



Zone A : période de jeunesse

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

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

### II.8.3.2. Temps moyen de bon fonctionnement :

Dans cette période, le taux de défaillance est sensiblement constant et est égal à l'unité d'usage sur la MTBF. Les calculs qui suivent ne sont donc valables que pour cette période.

**MTBF** : Mean Time Between Failure : moyenne des temps de bon fonctionnement entre défaillances consécutives. [7]

$$\mathbf{MTBF} = \frac{\text{somme des temps des fonctionnement entre les panne}}{\text{nombre totale des panne}} \quad \mathbf{(II.4)}$$

Si  $\lambda$  est constant :

Le MTBF est la durée de vie moyenne du système :

$$\mathbf{MTBF} = \frac{1}{\lambda} \quad \mathbf{(II.5)}$$

### II.8.4. Les lois de fiabilité :

Il est toujours possible d'attribuer une probabilité à une variable aléatoire et de définir ainsi une loi de probabilité. Lorsque le nombre de tests augmente inexorablement, les modèles de fréquence observés pour les tests augmentent également.

Les probabilités et les distributions observées ont tendance à être des distributions de probabilité ou des distributions de loi de probabilité. Une loi de probabilité est un modèle qui représente le " meilleur " scénario.

Distribution de fréquence d'une variable alphanumérique.

#### II.8.4.1. Les lois de probabilité utilisées en fiabilité :

- **Lois discrètes** : Loi Uniforme / Loi de Bernoulli / Loi Binomiale / Loi Binomiale négative / Loi Géométrique / Loi Hypergéométrique /et Loi de Poisson
- **Lois continues** : La loi du Khi deux/ La loi de Birnbaum-Saunders / La loi Gamma /Loi Inverse Gamma/ La loi logistique/La loi log-logistique/ La Loi de Cauchy et La loi de Student / La loi Bêta et La loi exponentielle / La loi de Fisher /La Loi normal et La loi Log normale et La loi de Weibull.

### II.8.4.2. Les lois usuelles de la fiabilité :

Loi exponentielle : En raison des multiples applications de cette loi, il ne s'agit que d'un cas particulier de la loi de Weibull, et nous introduirons plusieurs applications après le développement approfondi de cette loi. [8]

➤ Fonction de la fiabilité :  $\mathbf{R(t)} = e^{-\lambda t}$  (II.6)

➤ Fonction de défaillance :  $\mathbf{F(t)} = 1 - e^{-\lambda t}$  (II.7)

➤ Densité de probabilité :  $\mathbf{f(t)} = \lambda \cdot e^{-\lambda t}$  (II.8)

### II.8.5.1. Loi de Weibull:

La loi de Weibull est une des lois les plus populaires dans de nombreux domaines. Grâce à sa flexibilité, elle permet de représenter une infinité de lois de probabilité.[9]

La loi permet :

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

Les 3 paramètres de cette loi sont :

$\gamma, \eta, \beta$  définissent la distribution de Weibull dans lequel:

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

Les différentes formules utilisées pour la distribution de Weibull sont :

- La densité de probabilité

$$\mathbf{f(t)} = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad \text{(II.9)}$$

$f(t)$  : probabilité d'avarie au temps  $t$ .

- La fonction répartition

$$\mathbf{F(t)} = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad \text{(II.10)}$$

$F(t)$  : probabilité d'avarie cumulée au-delà du temps

- La fonction de fiabilité

$$\mathbf{R(t)} = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad \text{(II.11)}$$

$R(t)$  : probabilité de suivi cumulée au-delà temps [9]

### II.8.5.2. Estimation des paramètres de la loi de Weibull :

Un des problèmes essentiels est l'estimation des paramètres :  $(\beta, \eta, \gamma)$  Préparation des données : [10]

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

On a 3 cas différents :

1. Si  $N > 50$ , regroupement des Temps de bon fonctionnement par classes avec la fréquence cumulée (Méthode des rangs bruts) :

$$\mathbf{F(i)} = \frac{n_i}{N} \approx F(t) \quad \text{(II.12)}$$

2. Si  $20 < N < 50$  on affecte rang «  $N_i$  » à chaque défaillance (approximation des rangs moyens) :

$$\mathbf{F(i)} = \frac{n_i}{N+1} \approx F(t) \quad \text{(II.13)}$$

3. Si  $N < 20$  on affecte un rang «  $N_i$  » à chaque défaillance (approximation des rangs médians) :

$$\mathbf{F(i)} = \frac{n_i - 0.3}{n + 0.4} \quad \text{(II.14)}$$

### II.8.5. Diagramme de fiabilité :

Les diagrammes de fiabilité sont des modèles graphiques utilisés pour représenter des états en sécurité opérationnelle Le système est basé sur l'état opérationnel de ses composants.

Il partage la même base booléenne et les mêmes probabilités que les arbres de défaillances. Cet article décrit sa mise en œuvre travail, difficulté et solutions qualitatives (coupes minimales) et quantitatives l'utilisant (disponibilité, fréquence des pannes ou fiabilité). Il décrit l'art antérieur basé sur l'utilisation de graphes orientés décisions, fournir des exemples illustratifs et discuter des extensions qui ont des aspects incohérents ou incohérents Dynamique.[11]

**II.8.6. Fiabilité de système constitué de plusieurs composants :**

**a) En série :**

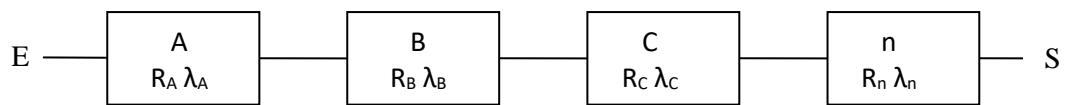
La fiabilité  $R_s$  d'un ensemble de  $n$  constituants connectés en série est égale au produit des fiabilités respectives  $R_A, R_B, R_C, R_n$  de chaque composant.

$$R_s = R_A * R_B * R_C * ... * R_n \tag{II.15}$$

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

La suivante :

$$R(s) = R^n$$



**FIG II. 4.** Système en série

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

$$R(s) = (e^{-\lambda_A t}) * (e^{-\lambda_B t}) * (e^{-\lambda_C t}) * ... * (e^{-\lambda_n t}) \tag{II.16}$$

$$MTBF = \frac{1}{\lambda_A + \lambda_B + \lambda_C + ..... + \lambda_n} \tag{II.17}$$

Si en plus, les composants sont identiques :  $\lambda_A = \lambda_B = \lambda_C = ... = \lambda_n$

Alors :

$$R(s) = (e^{-\lambda n t}) \quad \text{et} \quad MTBF = \frac{1}{n * \lambda} \tag{II.18}$$

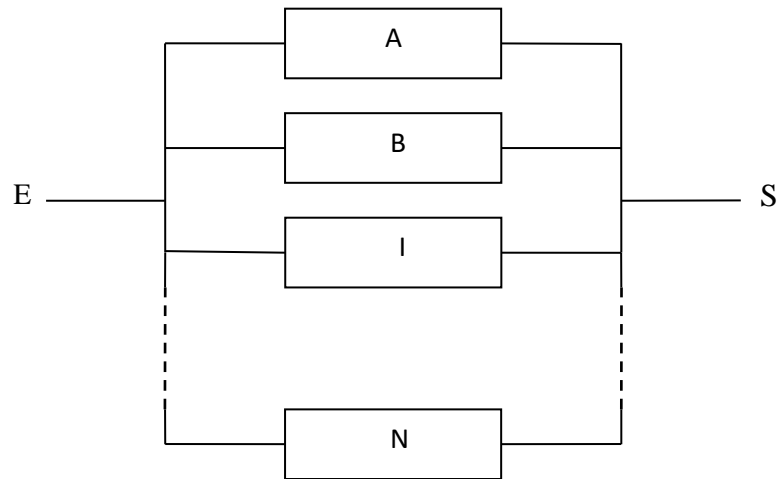
**b) En parallèle :**

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 :

$$F_i = 1 - R_i \tag{II.19}$$

$F_i$  représentant la fiabilité associée.



**FIG II. 5.** Système 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 : [12]

$$R(s) = 1 - (1 - R)^n \quad (\text{II.20})$$

Le cas particulier de deux dispositifs en parallèle si  $\lambda$  est constant RS est obtenu par :

$$R(s) = 1 - (1 - R_a)(1 - R_b) = R_a + R_b - R_a R_b \quad (\text{II.21})$$

$$R(s) = e^{-\lambda_a t} + e^{-\lambda_b t} - e^{-(\lambda_a + \lambda_b)t} \quad (\text{II.22})$$

## II.9. Maintenabilité :

### II.9.1. Définition de la maintenabilité :

La maintenabilité est l’aptitude à la maintenance. La maintenabilité peut donc être définie comme étant :

- La maintenabilité est la mesure de l’aptitude d’un dispositif à être maintenu ou remis dans des conditions spécifiées lorsque la maintenance de celui-ci est réalisée par des

Intervenants ayant les niveaux spécifiés de compétence, utilisant les procédures et les ressources prescrites, à tous les niveaux prescrits de maintenance et de réparation

- Dans des conditions données d’utilisation, aptitude d’un bien à être maintenu ou rétabli dans un état où il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits.[13]

### II.9.2. Temps Techniques de Réparation TTR :

Le TTR d’une intervention se compose en général de la somme des temps suivants :

- Temps de vérification de la réalité de la défaillance (quelquefois, il y a de fausses alarmes)
- Temps de diagnostic.
- Temps d'accès à l'organe défaillant (déposes ou bien démontages).
- Temps de remplacement ou de réparation.
- Temps de réassemblage.
- Temps de contrôle et d'essais.

Les temps « morts » suivants sont à éliminer du TTR :

- Temps d'attente pour indisponibilité des techniciens, des outils ou des pièces de rechange
- Arrêts de travail, etc.

Si les temps « morts » sont supérieurs ou égaux au TTR, une remise en cause de l'organisation et de la gestion de la maintenance est indispensable.[14]

### II.9.3. Expressions mathématiques :

Il y a analogie entre l'étude probabiliste de la fiabilité et la maintenabilité. Dans le cas de la maintenabilité, la variable aléatoire est la durée de l'intervention ou temps technique de réparation (TTR). La densité de probabilité est notée  $g(t)$ .

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

$$M(t) = \int_0^t g(t)dt \quad (\text{II.23})$$

$M(t)$  : représente également la probabilité de réparation d'une durée

$TTR < t$  Le taux de réparation est noté  $\mu(t)$  et s'exprime par :

$$\mu(t) = \frac{g(t)}{(1-M(t))} \quad (\text{II.24})$$

Le MTTR est donné par :

$$MTTR = \int_0^{+\infty} tg(t)dt \quad (\text{II.25})$$

Dans le cas où le taux de réparation  $\mu(t)$  est constant :

$$MTTR = \frac{1}{\mu} \quad (\text{II.26})$$

En ce qui concerne la collecte de données, le TTR est basé sur des feuilles de temps (BT) et la procédure d'estimation  $M(t)$  est similaire à celle de la fiabilité.[15]

#### **II.9.4. Les indicateurs de maintenabilité :**

**N** : Nombre de pannes.

**MTTR** : La MTTR est le principal indicateur de maintenabilité. Elle peut être obtenue par la moyenne statistique d'un échantillon de valeurs TTR ou par l'espérance mathématique de TTR obtenue à partir d'un modèle probabiliste.

**M(t)** : Il s'agit strictement d'une fonctionnalité de maintenabilité. C'est la probabilité de retour à l'ordre de travail par rapport au temps T. il est déterminé par le modèle probabiliste.

#### **II.10. Disponibilité :**

##### **II.10. 1. Définition de disponibilité :**

Lorsque nous étudions la fiabilité, nous ne nous intéressons pas seulement à la probabilité de défaillance, mais aussi à Le nombre de pannes, en particulier le temps nécessaire aux réparations. sous cet angle, Deux nouveaux paramètres de fiabilité entrent en jeu.

La disponibilité est la probabilité qu'un système soit disponible à un moment donné temps.

Cette définition est proche de celle de la fiabilité, sauf que le système demandé doit être un instant (t) plutôt qu'une période de temps (0 à t).

##### **II.10. 2. Disponibilité des différents formulaires :**

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 moyenne :**

La disponibilité moyenne sur un intervalle de temps donné peut être évaluée par les ratios suivants :

$$D(t) = \frac{\text{temps de disponibilité}}{\text{temps de disponibilité} + \text{temps d'indisponibilité}} \quad (\text{II.27})$$

$$D(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \left(1 - \frac{\lambda}{\mu} e^{-(\lambda + \mu)t}\right) \quad (\text{II.28})$$

**b) Disponibilité intrinsèque :**

Il exprime le point de vue du designer. Ce dernier conçoit et fabrique des produits en leur conférant certaines caractéristiques intrinsèques, c'est-à-dire des caractéristiques qui doivent être idéales compte tenu des caractéristiques d'installation, d'utilisation, de maintenance et des conditions environnementales. [16]

$$DI = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (\text{II.29})$$

MTBF : moyen de temps de bon fonctionnement.

MTTR : temps moyen de réparation.

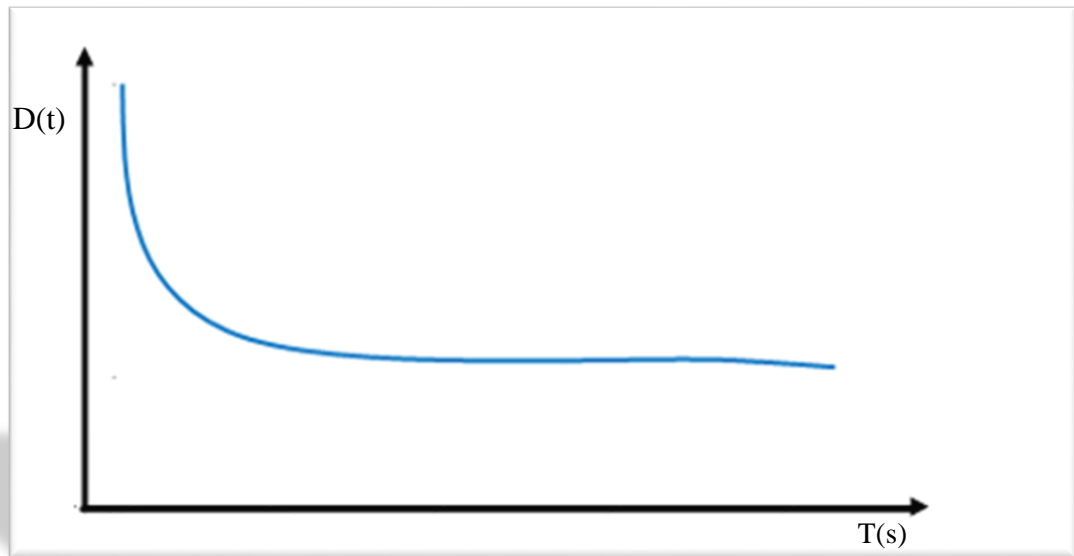
**c) Disponibilité opérationnelle :**

Il est nécessaire de considérer les conditions de fonctionnement et de maintenance réelles. C'est la disponibilité du point de vue de l'utilisateur.

Le calcul effectue les mêmes paramètres TBF, TTR et TTT en tant que calculs TBF, TTR et TTE, sauf que ces trois paramètres sont basés sur des conditions de fonctionnement réelles (historique de l'utilisation).

Il est nécessaire de s'assurer qu'un équipement est à la fois fiable et maintenu pour qu'il soit disponible.





**FIG II. 6.** La variation de disponibilité d'un système

## **II.11. AMDEC :**

### **Introduction :**

L'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leur Effets et de leur Criticité) est un outil méthodologique permettant l'analyse systématique des dysfonctionnements potentiels d'un produit, d'un procédé ou d'une installation.

D'après AFNOR, l'analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leur criticités (AMDEC) est une méthode inductive permettant pour chaque composant d'un système, de recenser son mode de défaillance et son effet sur le fonctionnement ou sur la sécurité du système.[16]

### **II.11.1. Définition de l'AMDEC :**

C'est une méthode qui permet de maîtriser la qualité car son objectif principal est de déterminer les problèmes avant qu'ils se produisent. Mais également, l'AMDEC est une technique pour :

- Détecter les défaillances d'un produit ou d'un processus.
- Définir les actions à entreprendre pour éliminer ces défaillances réduire leurs effets.
- Documenter le processus du développement. [17]

### **II.11.2. Objectifs de l'AMDEC :**

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

- Évaluer et assurer la fiabilité opérationnelle d'un équipement.
- Réduire les temps d'arrêt ultérieurs Erreur
- Éviter les causes ou les modes de défaillance
- L'établissement de procédures d'assurance qualité
- Identifier les modes de défaillances
- Déterminer la criticité de chaque mode de défaillance

### **II.11.3. Les avantages de l'AMDEC :**

- Identifier les faiblesses du système et proposer des solutions
- Spécifier des méthodes pour éviter certains échecs
- Classer les défauts selon des critères spécifiques
- Tests optimisés pour solliciter toutes les fonctions du système

### **II.11.4. TYPES D 'AMDEC :**

#### **a) AMDEC produit :**

Elle peut être réalisée à différents stades de la conception du produit et elle est d'autant plus efficace lorsqu'elle intervient plutôt dans le processus de conception. L'AMDEC produit est utilisée pour l'aide à la validation des études de définition d'un nouveau produit fabriqué par l'entreprise. Elle est mise en œuvre pour évaluer les défauts potentiels du nouveau produit et leurs causes. Cette évaluation de tous les défauts possibles permettra d'y remédier, après hiérarchisation, par la mise en place d'actions correctives sur la conception et préventives sur l'industrialisation. [18]

#### **b) AMDEC Processus :**

Elle permet de valider la gamme de fabrication d'un produit afin qu'elle satisfasse les caractéristiques définies par le bureau d'études, Elle consiste à rechercher dans une gamme de fabrication l'ensemble des situations qui peuvent en genre des produits défectueux

#### **c) AMDEC Moyen ou Machine :**

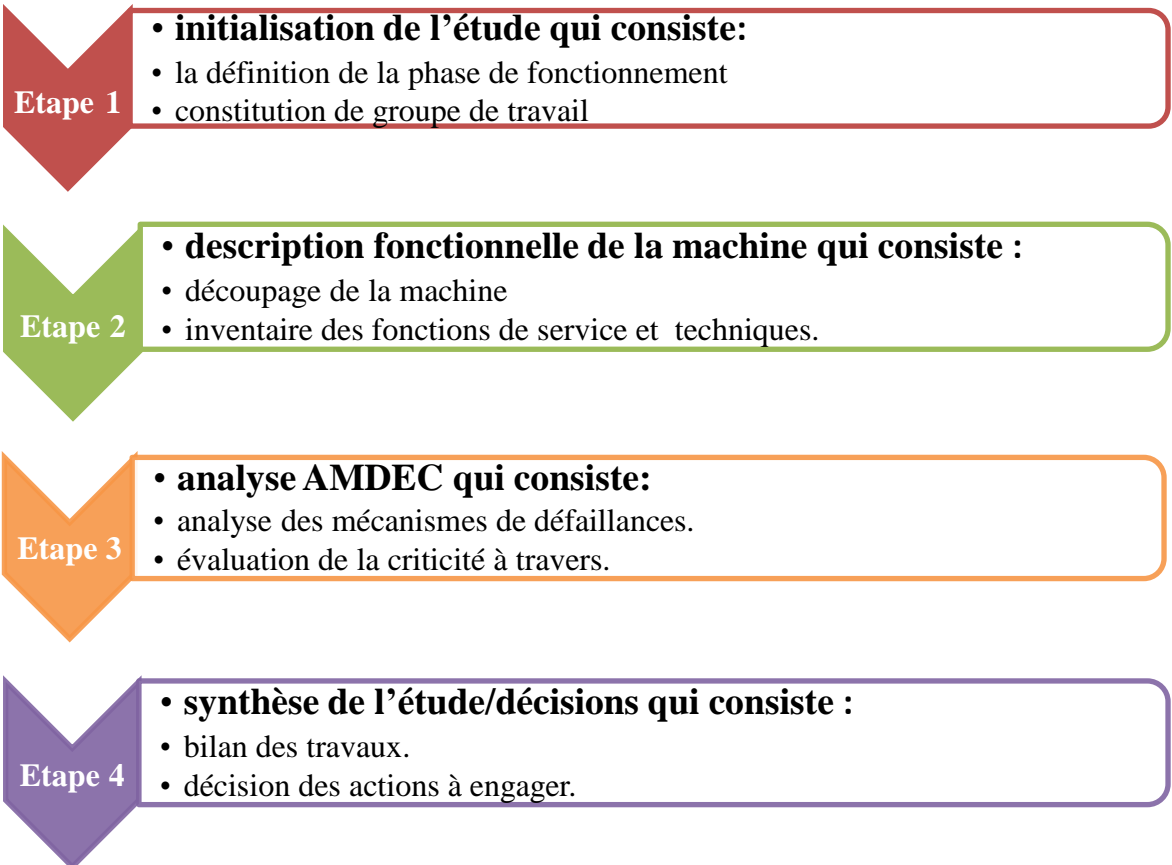
Ce type d'AMDEC se focalise sur un moyen de production afin de :

- Diminuer le nombre de rebuts
- Diminuer le taux de panne
- Augmenter la capacité

#### **d) AMDEC sécurité :**

Analyse des défaillances et des risques prévisionnels sur un équipement pour améliorer la sécurité et la fiabilité.[19]

### II.11.5. Démarche pratique de l'AMDEC :



### II.11.6. Conclusion :

Au cours de ce chapitre, nous avons fourni un aperçu complet des concepts de maintenance, fiabilité, disponibilité et AMDEC.

**Chapitre III :**  
**Généralité sur Machine Banc d'essai**  
**hydrostatique R-wp2500**

## Chapitre III : Généralité sur Machine Banc d'essai hydrostatique

### Introduction :

Les pipelines, selon leur objectif principal, peuvent généralement être classés dans les trois catégories principales suivantes :

1. Pipelines combinés : un groupe de petits pipelines interconnectés qui forment des réseaux dont le but principal est de transporter du pétrole brut ou du gaz naturel de plusieurs puits à proximité vers une usine de traitement.
2. Pipelines de transport : longs tuyaux de grands diamètres qui transportent du pétrole, du gaz et des produits pétroliers entre les villes, les pays et même les continents ; ces réseaux de transport comprennent plusieurs stations de pression dans les conduites de gaz ou des stations de pompage pour plusieurs pipelines de brut et de produits.
3. Canalisations de distribution : constituées de plusieurs canalisations interconnectées de petits diamètres utilisées pour transporter les produits jusqu'au consommateur final.
4. Le test hydrostatique est un processus utilisé pour tester la résistance et l'étanchéité de composants tels que les systèmes de tuyauterie, les bouteilles de gaz, les chaudières et les récipients sous pression. Des tests hydrauliques sont souvent nécessaires après des arrêts et des réparations pour s'assurer que l'équipement fonctionnera correctement lorsqu'il sera remis en service.
5. Divers liquides circulent et sont mis sous pression dans des cuves, des canalisations, des réservoirs ou des réacteurs utilisés dans les procédés industriels. Pour les processus simples, il est important de les tester après la production ou lors de la maintenance. Les tests hydrostatiques permettent de tester les fuites et la résistance des échantillons à des pressions allant jusqu'à 250bar.
6. Nous avons donc trouvé une machine d'essai hydrostatique qui teste la pression

### III.1. Définition de la machine :

Hydrostatique, plus formellement appelé test hydrostatique, est un type de test effectué sur des appareils sous pression pour vérifier l'absence de fuites. Hydrostatique consiste à remplir complètement d'eau un récipient sous pression, puis à le mettre sous pression. Une fois pressurisé, les fuites peuvent être détectées. Hydrostatique peut être utilisé pour déterminer si un appareil sous pression possède les propriétés mécaniques correctes. [2]

### III.2. Données de la machine M24 :

- Effort max, de pression      2.500 MP
- Pression max, d'épreuve      211 kp/cm<sup>2</sup>

- Diamètre max, du tube 64 (1.625 mm)
- Diamètre min. du tube 16 (406 mm)
- Longueur max. du tube 16 m
- Longueur min, du tube 7 m
- Epaisseur max 25m
- Qualité d'acier max 70 suivant API Std5 LS, édition Mars 1973
- Liquide d'épreuve eau avec l'addition d'émulsion

### **III.3. But de la machine :**

- Une pression supérieure aux 120% requis, afin de ne pas confirmer de fuite
- Donner une marque selon les règles de la réglementation américaine
- Forte assurance produit au niveau de l'Algérie
- Détecter la présence et cibler l'origine d'une fuite Contrôler la perméabilité des composants
- Détection des fuites et identification des sources Vérifier la perméabilité des composants

### **III.4. Les Avantages de la machine :**

- Calcul d'un taux d'échec
- Nous optimisons vos tests d'étanchéité. En cas de fuite, nous la localisons immédiatement.
- Le gain de temps et financier vous revient.
- Les essais de pression sont effectués par un technicien qualifié disposant des connaissances nécessaires, des techniques de mesure et des règlements de sécurité.
- Nous délivrons le rapport graphique de l'essai en toute neutralité.
- Nettoyage approfondi requis après le test Élimination de l'humidité, en particulier pour les services réactifs à l'humidité/aux fluides

### **III.5. Les Inconvénient de la machine :**

- Le type de tuyau d'essai demandé par le propriétaire doit être de la même qualité et dureté (Epaisseur mm) que lorsque requis
- L'équipement usagé est ancien et le manque de pièces de rechange est un manque de tests de condition physique
- Non-utilisation de certains systèmes internationaux Affecte le niveau d'équipement
- Fuite d'eau peut causer des dommages à l'équipement
- Geler la susceptibilité

### III.6. Installation et changement de dimensions : [2]

#### III.7.1. Tête de remplissage avec cylindre hydraulique :

La Tête d'étanchéité prévue pour chaque diamètre de tube sera installée à la Tête de remplissage.

- Effort max, de pression            2.500 MP
- Diamètre du plongeur            1.050 mm
- Levée                                    1.400 mm
- Pression max, de service        290 bar



**FIG III. 1.** Tête de remplissage

#### III.7.2. Chariot de serrage, et réception de tubes :

Commande (rouleau d'appui)            3 x 0,74 KW

Nombre de tours                            205 min<sup>-1</sup>

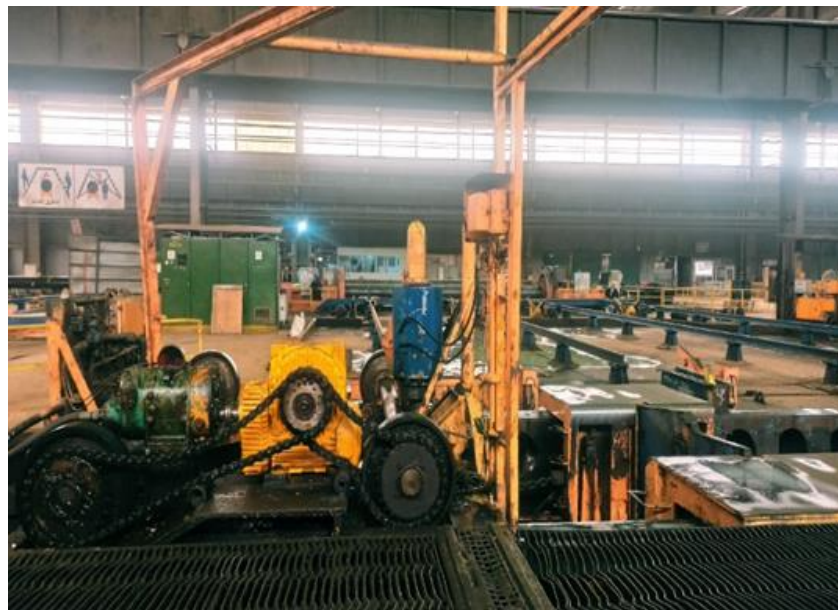
- Les rouleaux d'appui seront réglés à chaque diamètre de tube suivant des échelles se trouvant aux chariots.
- Le chariot intermédiaire sera déplacé suivant la longueur du tube.



**FIG III. 2.** Chariot de serrage et réception de tubes

### **III.7.3. Chariot D'extrémité :**

- Commande (moteur à air comprimé)      8 KW
- Nombre de tours      500 min<sup>-1</sup>
- Vitesse max. de déplacement      21.6 m/min
- Transmission d'engrenage
- La tête d'étanchéité prévue pour le diamètre du tube sera montée au chariot d'extrémité
- Le chariot d 'extrémité sera déplacé suivant la longueur du tube



**FIG III. 3.** Chariot finale



### III.7.4. Equipement hydraulique à eau :

#### III.7.4.1. Pompes de remplissage :

- Pression max, d'épreuve                    211kp/cm<sup>2</sup>
- Débit    3 x 5. 000 l/min.
- Pression de service                        3 bar
- Commande                                    3 x 45 KW
- Nombre de tours                          2.900 min<sup>-1</sup>

Les pompes de remplissage de haute qualité sont une solution fiable pour remplir vos pipelines amarrés. Ces pompes sont disponibles dans une variété de configurations pour répondre à vos besoins et assurer le bon fonctionnement de votre équipement.



FIG III. 4. Pompes de remplissage

#### III.7.4.2. Pompes à 3 pistons :

- Débit    2 x 43 l/min.
- Pression de service                        250 bar
- Commande                                    2 x 22 KW
- Nombre de tour                          1.460 min<sup>-1</sup>
- Pour une puissance hydraulique élevée, utilisez une pompe à piston.

La majorité des pompes à piston sont utilisées dans les industries des hydrocarbures, et elles fonctionnent contre les pressions élevées créées lors du pompage et du conditionnement de l'eau à l'intérieur des tubes.

### III.7.4.3. Compresseur :

- Débit 2x 160 l/min
- Pression de service 250 bar
- Commande 2 x5,5 KW
- Nombre de tours 1.450 min<sup>-1</sup>

Le régulateur de pression hydropneumatique pour l'étanchéité intérieure et l'interrupteur pour la pression d'épreuve seront réglés suivant le tableau en annexe.



FIG III. 5. Compresseur

### III.7.4.4. Equipement hydraulique à glycol :

#### a) Pompe de circulation

- Débit 150 l/min
- Pression de service 3 bar
- Commande 3 KW
- Nombre de tours 1.500 min<sup>-1</sup>

La pompe de circulation est un élément clé de la chaudière. Il sert à réguler la pression du circuit de chauffage et également à faire circuler le fluide caloporteur. Selon la définition, une pompe de circulation peut également être appelée pompe de circulation de chauffage ou pompe de circulation de chaudière.

### b) Pompes principales

Débit	3 x 210 l/min
Pression de service	130 bar
Commande	3 x 55 KW
Nombre de tours	1.000 min <sup>-1</sup>

Les pompes principales de haute qualité constituent une solution fiable pour les vérins. Ces pompes sont disponibles dans une variété de configurations pour répondre à vos besoins et assurer le bon fonctionnement de votre équipement



**FIG III. 6.** Pompes principales pour les vérins et Pompe de circulation

### III.7. Déclenchement à la fin du travail :

- Déclenchement des pompes haute pression
- Déclenchement des pompes de remplissage d'eau
- Déclenchement de la pompe principale glycol
- Déclenchement de la pompe de circulation
- Déclenchement du compresseur
- Tension de Commande "ARRET"
- Interrupteur principal "ARRET"

### III.8. Déroulement de travail :

La manœuvre du banc d'épreuve hydraulique se fait de la cabine, Le tube à contrôler est roulé sur les grilles devant le banc d'épreuve hydraulique à l'aide des unités CLS, En roulant

en direction de la machine, le tube passe ver nettoyage de tubes ou des grosses contaminations Seront enlevées par un jet d'eau, le tube arrive au dispositif de réception de tubes précité et ensuite, il est descendu sur les

Rouleaux d'appui, Le chariot **I** de serrage est tiré au chariot d'extrémité, ensuite la tête de remplissage pousse le tube devant le chariot d'extrémité bloqué, à la suite, le tube est serré et la pompe de remplissage est mise en fonction.

Les soupapes de dégagement d'air seront fermées après la sortie de l'eau des tubes d'aération pendant 15 secondes environ. Dès maintenant, haute pression venant du réservoir à haute pression du banc d'épreuve hydraulique peut être amenée dans le tube sous épreuve.

En même temps, le manomètre enregistreur se met en fonction. En at teignant la pression d'épreuve nécessaire l'amenée de haute pression est arrêté.

La minuterie est en fonction et des marteaux pneumatiques battent les extrémités de tubes.

Si la pression d'épreuve descend à cause de non-échangeâtes, elle sera augmentée tout de suite.

Après l'expiration du temps d'épreuve choisi, la haute pression descend automatiquement et le manomètre enregistreur se déclenche.

Après que la tête de remplissage est retournée dans sa position finale, le dispositif de serrage au chariot **II** se desserre automatiquement Le chariot **I**.

De serrage s'eldgne du chariot d'extrémité et il tire le tube de la tête d'étanchéité du chariot d'extrémité.

A la suite, le dispositif de serrage au chariot de serrage **I** se desserre automatiquement. Ensuite, le tube est levé de la machine et peut être réceptionné par la station d'enlèvement d'eau. Le tube en position inclinée perme t la sortie de l'eau restante.

Encore en position horizontale, le tube sera évacué sur les grilles à côté du banc d'épreuve hydraulique à l'aide des dispositifs d'éjection.

Some externat éléments :

- 1) Blocage du chariot d'extrémité par l'encliquetage des chevilles d'arrêt dans les tirants.
- 2) Mise du dispositif de réception de tubes du banc d'épreuve hydraulique dans la position supérieure de réception
- 3) Mise du dispositif de réception de tubes de la station d'enlèvement d'eau dans la position Supérieure de réception

- 4) Réglage de la pompe principale **I**, **II** ou **III**, au choix (pompes hydrauliques à glycol)
- 5) Réglage de la pompe de circulation pour le refroidissement de l'agrégat hydraulique

### **III.9.Fonctionnement :**

Les travaux suivants seront exécutés avant la mise en route du banc d'épreuve hydraulique :

- 1) Interrupteur principal "MARCHE "
- 2) Tension de commande "MARCHE"
- 3) Réglage du commutateur sélecteur pour les Pompes de remplissage du commutateur
- 4) Réglage de la pression d'épreuve à l'interrupteur a pression suivant tableau
- 5) Réglage de la pression d'appui pour l'étanchéité intérieure au régulateur hydro-pneumatique suivant tableau
- 6) Réglage du temps d'épreuve :

Suivant les prescriptions de API, le temps d'épreuve s'élève à 10 secondes minimum, autrement, il sera réglé entre 10 à 20 secondes

- 7) Réglage du commutateur sélecteur "pompes à haute pression "MARCHE"
- 8) Au cas de besoin, charge de l'accumulateur haute pression en utilisant le compresseur **I** ou **II**, au choix
- 9) Déplacement du chariot d'extrémité suivant a longueur du tube
- 10) Blocage du chariot d 'extrémité par l'encliquetage des chevilles d'arrêt dans les tirants.
- 11) Mise du dispositif de réception de tubes du bano d'épreuve hydraulique dans la position supérieure de réception
- 12) Mise du dispositif de réception de tubes de la station d'enlèvement d'eau dans la position supérieure de réception Réglage de la pompe principale
- 13) **I**, **II** ou **III**, au choix (pompes hydrauliques à glycol)
- 14) Réglage de la pompe de circulation pour le refroidissement de l'agrégat hydraulique

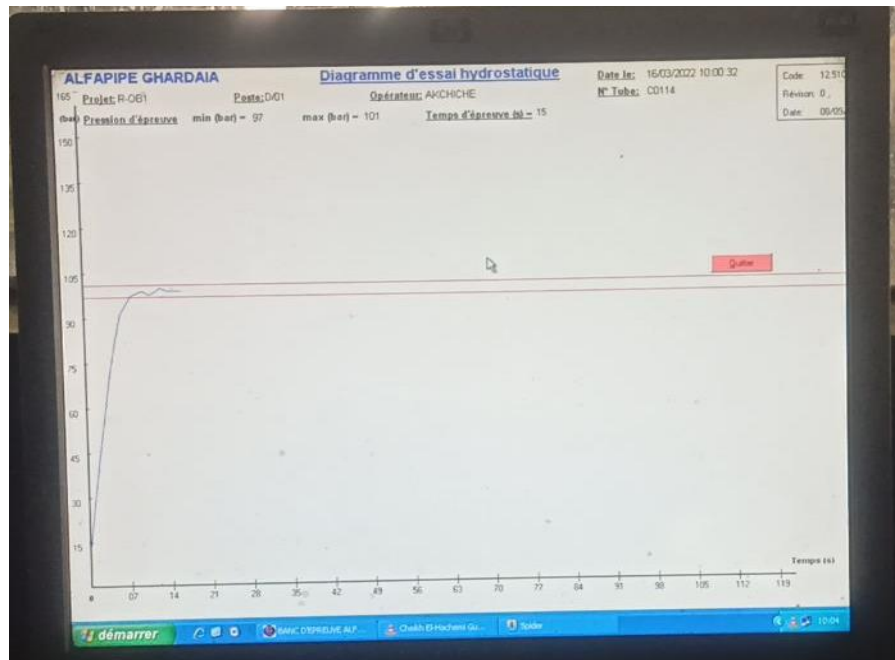


FIG III. 7. Temps d'épreuve

### III.10. sécurité:

- Pour la sécurité de l'opérateur, le pupitre de commande est localisé dans une cabine vitrée.
- L'opération de la machine doit être exécuter uniquement par le pupitre de commande.
- Pendant l'opération du banc d'épreuve hydraulique personne ne doit se trouver dans la zone dangereuse de la machine L'opérateur doit s'en convaincre avant chaque opération.
- Toutes les pièces de la machine tournante Sont couvertes par des dispositifs de protection.
- Aux cas d'urgence, le bouton-poussoir rouge "ARRET-D'URGENCE" ou "PRESSION D'EPREUVE-ARRET" est à actionner au pupitre de commande.

### III.11. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons examiné la machine de banc d'essai hydrostatique WP 2500 en général, en mentionnant ses composants et son fonctionnement.

## 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 :

Faire de la maintenance d'emplacement dans un système de production est un travail difficile car il est toujours difficile de garder les choses simples dans un environnement complexe. Le but du chapitre précédent est d'utiliser l'historique des pannes de Banc d'essais hydrostatique (M24) pour mener une étude expérimentale de l'indice FMD de cette Banc d'essais hydrostatique tout en suivant les trois courbes d'indice.

### IV.2. Exploitation de l'historique:

Le traitement des données historiques (tableau 1) comprend :

- Calcul du Temps Arrêt (TA)
- Calcul du Temps de bon fonctionnement (TBF), qui est dérivé de la différence entre deux pannes consécutives.
- Calcul des heures de maintenance technique.

**TBF** : temps de bon fonctionnement

**TTR** : Temps de réparation

**Tableau IV. 1.** Dossier historique de la Banc d'essais hydrostatique

	Date de démarrage	Date d'arrêt	TBF (h)	TTR (h)	Cause	Action
1	11/01/2019	28/01/2019	180	2.5	Fuite conduite groupe hydraulique Fuite flexible	Appoint d'huile Du groupe hydraulique Changement flexible
2	29/01/2019	7/02/2019	96	1	Vibration	Changement vis de fixation du moteur pneumatique chariot finale



3	08/02/2019	05/03/2019	324	5	Fuite d'eau sur circuit basse pression fuite d'air comprimé sur le circuit basse pression	Misse à niveau Ballon BP
4	06/03/2019	09/04/2019	396	3	Fuite sur circuit (Les raccords) hydrostatique	Mise à niveau ballon HP
5	10/04/2019	25/05/2019	540	2.5	Fuite d'eau sur circuit pression des joints Fuite d'air comprimé sur le circuit pression des joints	Mise à niveau ballon pression du joint
6	26/05/2019	12/07/2019	492	2.5	Dommages sur les électrovannes De la décharge	Mise à niveau ballon pression des joints.
7	13/07/2019	09/09/2019	670	1.5	Fuite d'eau sur circuit basse pression	Misse à niveau ballon BP
8	11/09/2019	22/09/2019	132	2.5	Dommages les joints	Changement les joints
9	23/09/2019	28/11/2019	720	2.5	Fuite sur clapet (électrovannes de circulation Pompe HP)	Changement de clapet

10	01/04/2020	05/07/2020	116	5	Fuite flexible de circuit hydraulique	Appoint d'huile du groupe hydraulique
11	06/07/2021	09/08/2021	396	2.5	Dommages les joints	Changement les joints
12	09/08/2021	07/11/2021	696	3.5	Fuite sur soupape sécurité	Mise à niveau ballon HP Changement Soupape sécurité
13	09/11/2021	26/12/2021	564	3	Fuite sur les électrovannes	Changement de soupape
14	27/12/2021	03/02/2022	432	3	Dommages le joint	Changement les joints

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

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

Avant d'utiliser la méthode ABC, vous devez d'abord classer vos données, dans l'ordre décroissant, décrémentant les heures des pannes, puis créant un graphique Pareto.

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

	Organe	TTR(h)	Cumul TTR	% TTR	Nombre de panne	Cumul des pannes	%de pannes Cumulées
1	Les joints d'étanchéité tube	8	8	20	3	3	21.43
2	Groupe hydraulique	7.5	15.5	38.75	2	5	35.71
3	Ballon HP	6.5	22	55	2	7	50
4	Ballon BP	6.5	28.5	71.25	2	9	64.28
5	Les électrovannes	5.5	34	85	2	11	78.57
6	Ballon pression du joint	5	39	97.5	2	13	92.86
7	Vis de fixation	1	40	100	1	14	100

### IV.3.2. Interprétation des résultats :

- **Zone A :**

Dans la majorité des cas, on constate qu'environ 78.57% des pannes représente 85% des heures d'arrêts, ceci constitue la zone A, zone des priorités (les joints d'étanchéité tube, Groupe hydraulique, ballon HP, ballon BP).

- **Zone B :**

Dans cette tranche, les 14.29 % des pannes représentent 12.5 % supplémentaire (Les électrovannes, ballon pression du joint).

- **Zone C :**

Dans cette zone les 7.14 % des pannes restantes ne représentent que 2.5% des heures d'arrêts (vis de fixation).

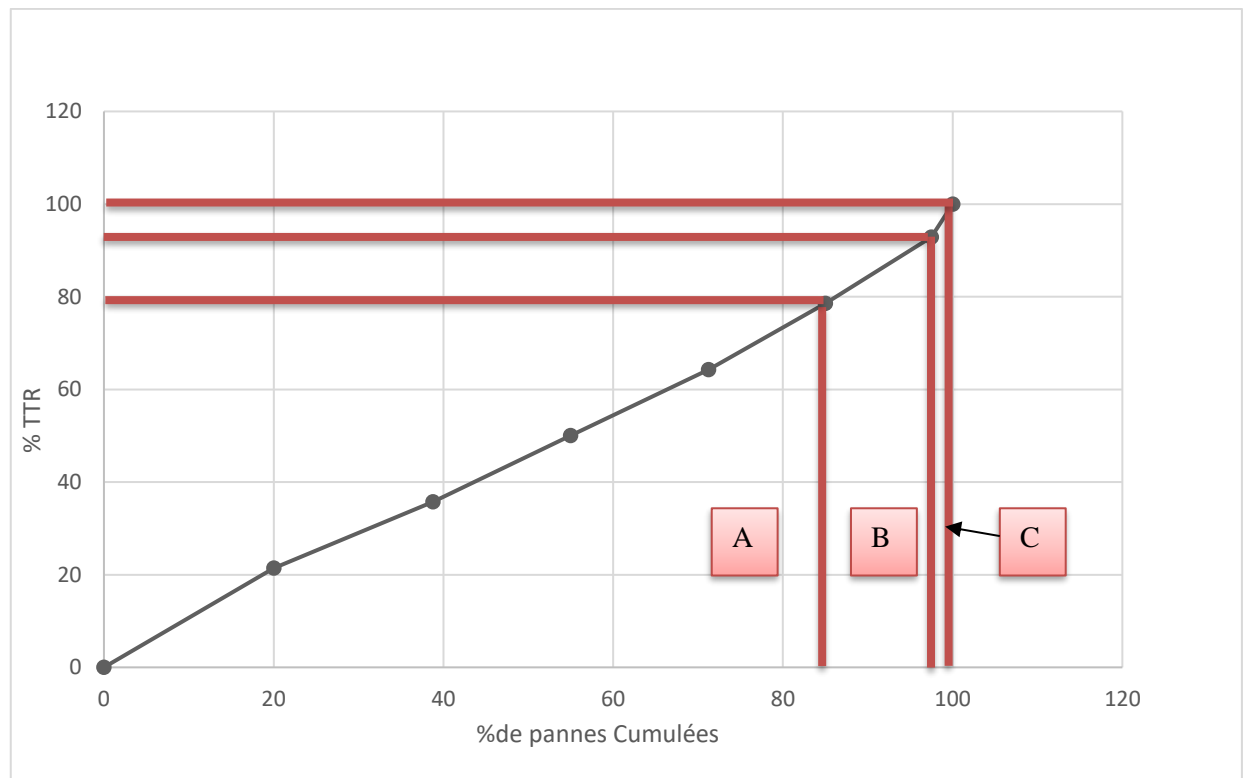


FIG IV. 1. La Courbe d'ABC

### IV.4. Calcul les paramètres de Weibull :

Le tableau suivant comporte les TBF classés par ordre croissant, et les F(i) calculés par

la méthode des ranges médians  $F(i) = \frac{\sum ni - 0.3}{N + 0.4}$  dans notre cas

(N=14 ≤ 20) et on trace la courbe de Weibull :

Tableau IV. 3. Fonction de réparation réel

N°	TBF(h)	N	$\sum ni$	F(i)	F(i) %
1	96	1	1	0,0486	4,86
2	132	1	2	0,1180	11,80
3	180	1	3	0,1875	18,75
4	324	1	4	0,2569	25,69
5	396	1	5	0,3263	32,63
6	396	1	6	0,3958	39,58
7	432	1	7	0,4652	46,52
8	492	1	8	0,5347	53,47
9	540	1	9	0,6041	60,41
10	564	1	10	0,6736	67,36
11	670	1	11	0,7430	74,30
12	696	1	12	0,8125	81,25
13	720	1	13	0,8819	88,19
14	1164	1	14	0,9513	95,13

Pour estimer les paramètres de "Weibull"  $\beta$ ,  $\eta$ ,  $\gamma$ , à partir des temps de bon fonctionnement « TBF » on utilise entre autres, la méthode des moindres carrés.

#### 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" ( $\beta$  et  $\eta$ ), On estime la valeur de ces paramètres par la méthode des moindres carrés en utilisant les expressions suivantes :

$$\eta = e^{(\bar{x}-\bar{y})/\beta}$$

$$\beta = \frac{\sum xi yi - \bar{y} \sum xi}{\sum (xi)^2 - \frac{(\sum xi)^2}{n}}$$

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{xi}{n}$$

Avec:  $\gamma=0$

$$xi = \text{Ln}(\text{TBF})$$

$$Yi = \text{Ln}[\text{Ln}(1/(1-f(i)))]$$

$$\bar{y} = \sum_{i=0}^n \frac{yi}{n}$$

Xi	Yi	xi*yi	x^2	yi^2		Xi	Yi	xi*yi	x^2	yi^2
4,564348	-2,99932	-13,69	20,83327	8,995949		<b>83,9687</b>	<b>-7,48787</b>	<b>-34,7598</b>	<b>509,8882</b>	<b>21,0482</b>
4,882802	-2,07495	-10,1315	23,84175	4,3054						
5,192957	-1,57195	-8,16308	26,9668	2,471035						
5,780744	-1,21428	-7,01942	33,417	1,474468						
5,981414	-0,92894	-5,5564	35,77732	0,862938					$\beta$	1,6
5,981414	-0,68548	-4,10012	35,77732	0,469878					$\eta$	607,3752
6,068426	-0,46862	-2,84381	36,82579	0,219609					mtbf a	543,121
6,198479	-0,26778	-1,65985	38,42114	0,071708					A	0,8966
6,291569	-0,07624	-0,47967	39,58384	0,005813						
6,335054	0,113	0,71586	40,13291	0,012769						
6,507278	0,306513	1,994566	42,34466	0,09395		R(t)	0,44			
6,54535	0,515202	3,372177	42,8416	0,265433		F(t)	0,56		$\ddot{X}$	83,9687
6,579251	0,75904	4,993912	43,28655	0,576141					$\ddot{Y}$	-7,487
7,059618	1,105944	7,807542	49,8382	1,223112						

FIG IV. 2. Page de calcul on Excel

Donc :

$$\sum_{i=1}^{13} Xi = 83.9687$$

$$\sum_{i=1}^{13} Yi = -7.487$$

$$\sum_{i=1}^{13} (Xi)^2 = 509.888$$

$$\sum_{i=1}^{13} XiYi = -34.759$$

La somme :  
 $\beta=1,60$   
 $\eta=607,3752$   
 $\gamma=0$

$$\sum_{i=1}^{13} (Xi)^2/14 = 578.16$$

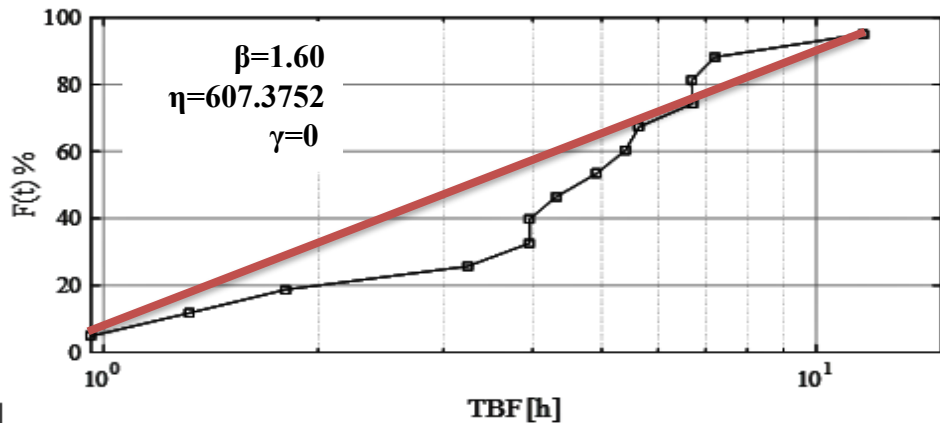


FIG IV. 3. Papier de Weibull sur logiciel Matlab

#### IV.6. Exploitation les paramètres de WEIBULL :

##### IV.6.1. Le MTBF :

Le tableau de MTBF donne A=0,8966, B=0,574

$$MTBF = A \cdot \eta + \gamma \quad (IV.1)$$

$$MTBF = 0.8966 \times 607.3752 + 0$$

$$MTBF = 543.121 \text{ h}$$

La densité de probabilité en fonction de MTBF :

$$f(t = MTBF) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \exp \left[ - \left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta} \right] = 0.001067 = 0.1067 \% \quad (IV.2)$$

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

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

$$F(t = MTBF) = 1 - \exp \left( \frac{543.121}{607.3752} \right)^{1.6} = 0.56 = 56\%$$

#### IV.6.3. La fiabilité en fonction de MTBF :

$$R(t=MTBF) = 1 - F(t=MTBF) = 1 - 0.56 = 0.44$$

$$R(MTBF) = 44 \%$$

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

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad (IV.4)$$

$$\lambda(t = MTBF) = \frac{1.6}{607.3752} \left( \frac{543.121}{607.3752} \right)^{1.6-1} = 0.00027432 \text{ panne/heure}$$

#### IV.6.5. Calcul du temps souhaitable pour une intervention systématique :

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

$$R(t) = \exp \left( - \left( \frac{t}{\eta} \right)^{\beta} \right) \quad (IV.5)$$

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

$$T_{\text{sys}} = 311.65 \text{ h.}$$

Pour garder la fiabilité de la Banc d'essais hydrostatique 80% il faut intervenir chaque

Temps systématique 311.65 h.

#### IV.7. Étude de modèle de Weibull :

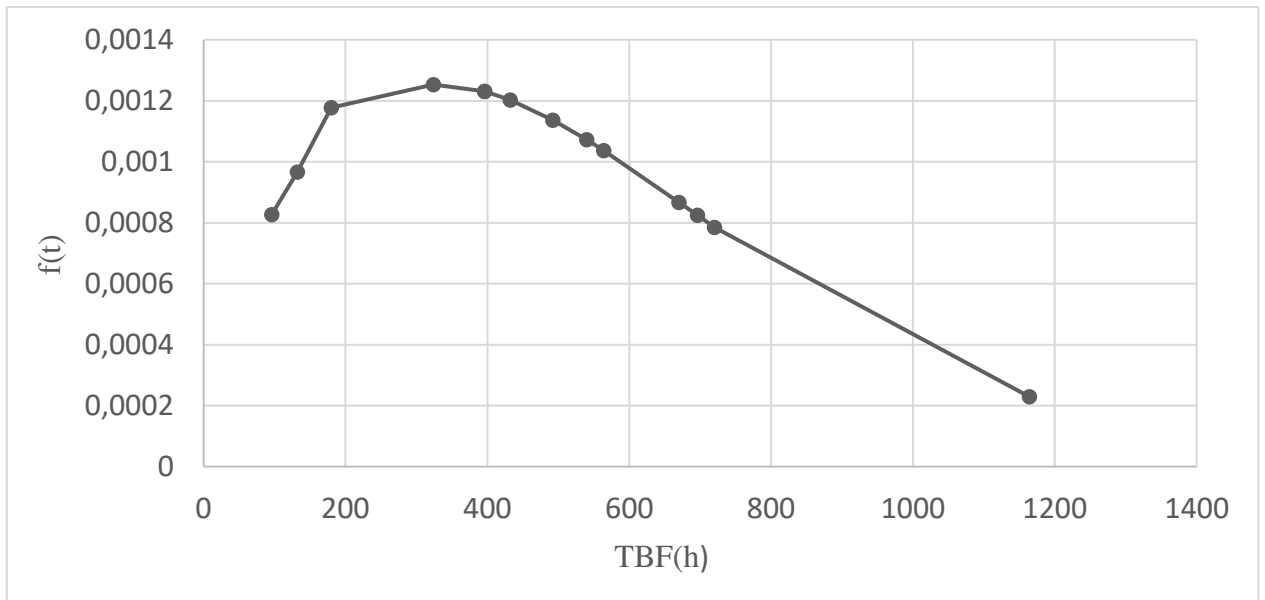
##### IV.7.1. La fonction de la densité de probabilité:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \exp \left[ - \left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta} \right] \quad (IV.6)$$

$$f(t) = \lambda(t) \cdot R(t) \quad (IV.7)$$

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

TBF(h)	f(t)
96	0,000827
132	0,000966
180	0,001177
324	0,001253
396	0,001231
396	0,001231
432	0,001203
492	0,001137
540	0,001072
564	0,001037
670	0,000867
696	0,000824
720	0,000785
1164	0,000229



**FIG IV. 4.** La Courbe Densité De Probabilité

**Analyse de la courbe :**

D'après cette courbe on remarque que la fonction f(t) (densité de probabilité) diminue avec le temps.

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

$$F(t) = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta \right] \tag{IV.8}$$

Tableau IV. 5. Fonction de répartition

TBF(h)	F(t)
96	0,050910302
132	0,083298613
180	0,133122874
324	0,306415148
396	0,396136339
396	0,396136339
432	0,439963063
492	0,510249715
540	0,563301286
564	0,588608155
670	0,689635138
696	0,711624922
720	0,730936083
1164	0,941066711

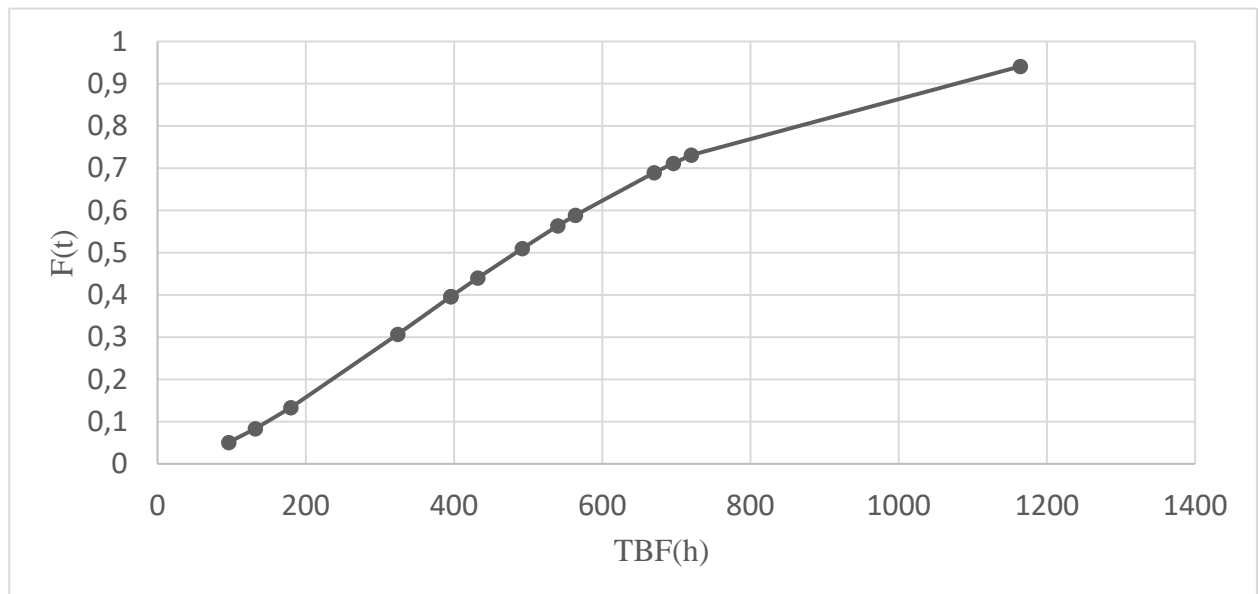


FIG IV. 5. Courbe De Fonction Répartition

**Analyse de la courbe :**

La fonction de défaillance croissant en fonction de temps, et pour  $t=MTBF$ ,

$$F(MTBF)=0.56=56\%$$

**IV.7.3. La Fiabilité :**

La fonction fiabilité de celle de répartition :  $R(t) = 1-F(t)$ , après calcul la fiabilité de la machine aux temps  $t=MTBF$ , on déduit que la valeur n'est pas satisfaisante donc on peut dire que la machine n'est pas fiable à  $t=MTBF$

$$R(t) = \exp \left[ - \left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta \right] \qquad R(t = MTBF) = 0.44 \qquad (IV.9)$$



Tableau IV. 6. La fiabilité

TBF(h)	R(T)
96	0,949089698
132	0,916701387
180	0,866877126
324	0,693584852
396	0,603863661
396	0,603863661
432	0,560036937
492	0,489750285
540	0,436698714
564	0,411391845
670	0,310364862
696	0,288375078
720	0,269063917
1164	0,058933289

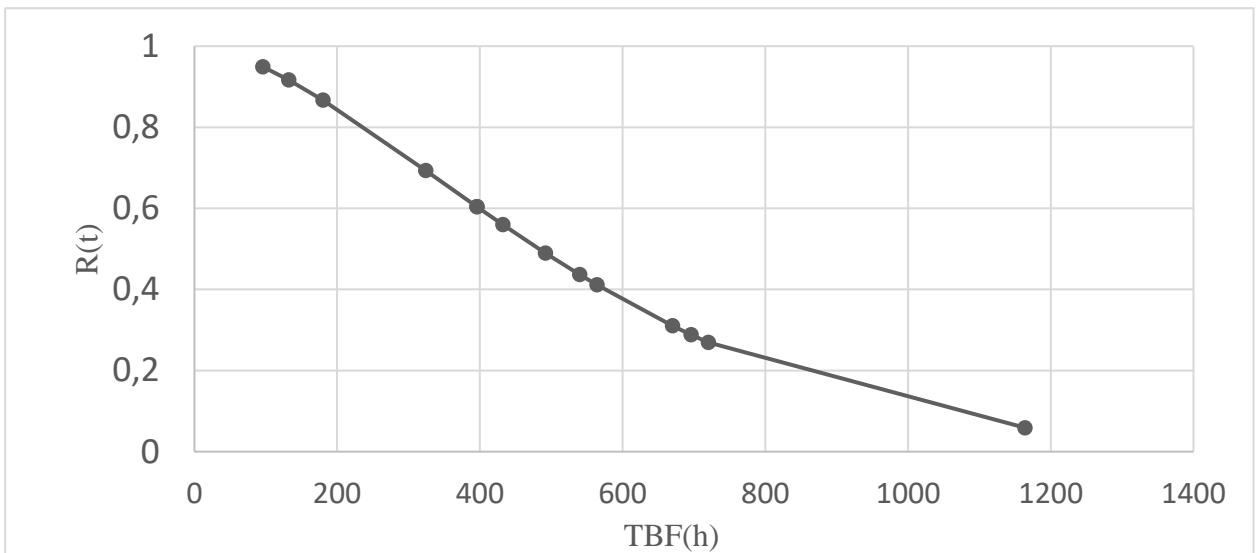


FIG IV. 6. La Courbe De la Fonction Fiabilité

**Analyse de la courbe :**

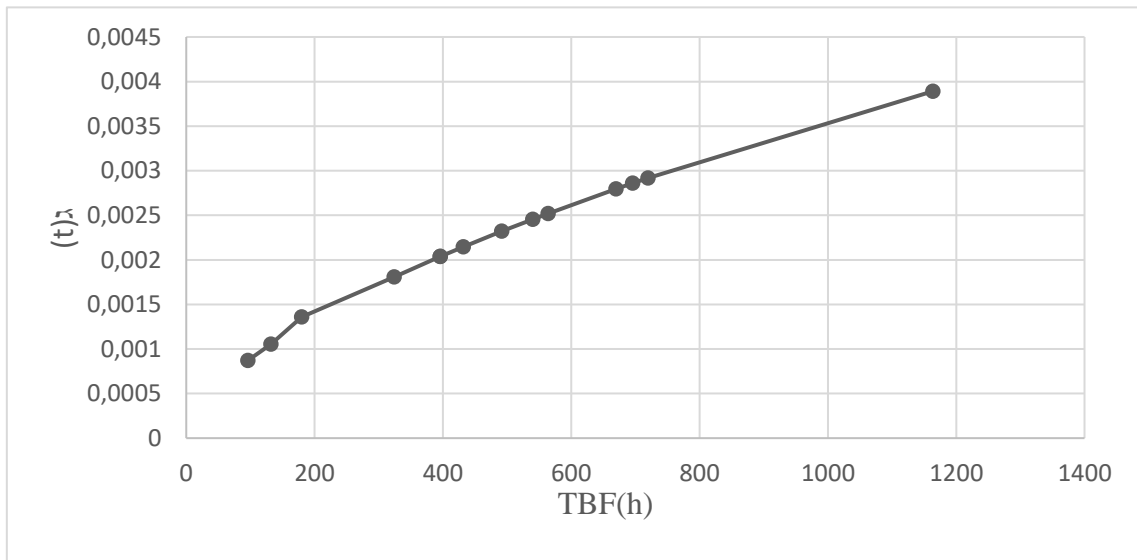
Le graphe décroissant en fonction de temps ce qui fait expliquer par le phénomène de dégradation comme par exemple décrochement. L'amélioration de la fiabilité de la machine passe obligatoirement par une analyse des défaillances avec une étude détaillée de leurs causes de leurs modes et de leurs conséquences.

**IV.7.4. Le taux de défaillance :**

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \tag{IV.10}$$

**Tableau IV. 7.** Le taux de défaillance

TBF(h)	$\lambda(t)$
96	0,000870866
132	0,001054224
180	0,001357965
324	0,001806823
396	0,002038007
396	0,002038007
432	0,002147232
492	0,002321495
540	0,00245485
564	0,002519742
670	0,002794046
696	0,002858605
720	0,002917347
1164	0,003891889



**FIG IV. 6.** Le courbe taux de défaillance

**Analyse de la courbe :**

Le taux de défaillance est décroissant en fonction de temps. Cette diminution est considérée normale.

**IV.7.5. Calcul la Maintenabilité de la machine :**

D'après l'historique des pannes de la machine :

$$MTTR = \frac{\sum TR}{N}$$

TR : temps de réparation.

N : nombre de panne.

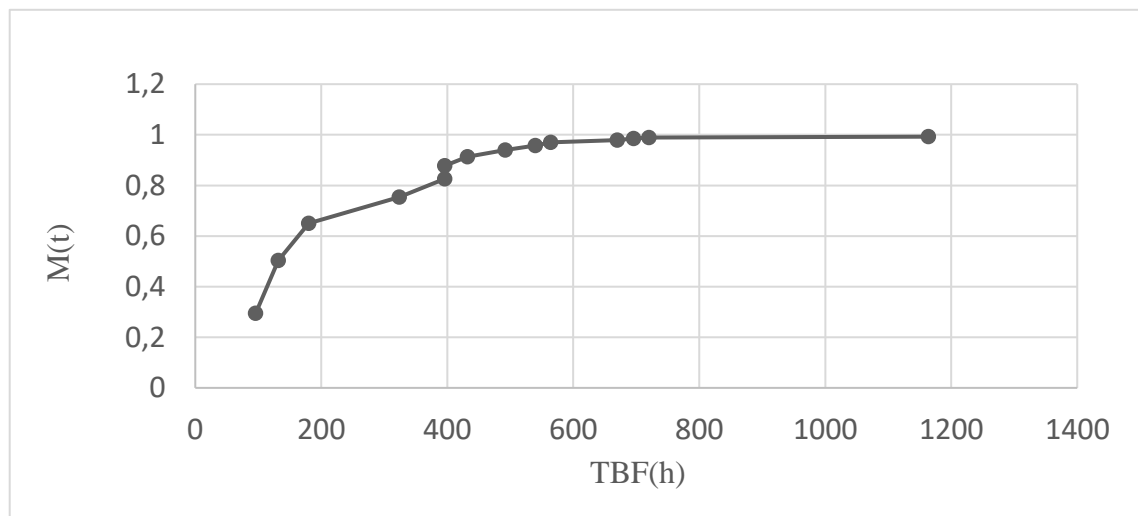
MTTR= 40/14= 2.857h.

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad (\text{IV.11})$$

Avec :  $\mu = 1/\text{MTTR} = 1/2.85714 = 0.35$  intervention / heure.

**Tableau IV. 8.** La maintenabilité

TBF(h)	M(t)
96	0,295312
132	0,503415
180	0,650062
324	0,753403
396	0,826226
396	0,877544
432	0,913706
492	0,93919
540	0,957148
564	0,969803
670	0,97872
696	0,985004
720	0,989433
1164	0,992553



**FIG IV. 7.** La Courbe de Maintenabilité

**Analyse de la courbe :**

La Maintenabilité est croissant en fonction de temps à l'instant T=720heurs, la maintenable 98,94%.

**IV.8. Calcul la disponibilité Di :**

**IV.8.1. Disponibilité intrinsèque à l'asymptotique :**

$$Di = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} = \frac{543,121}{543,121+2,85714} = 0.9947 \tag{IV.12}$$

**IV.8.2. Disponibilité instantané D(t) :**

$$D(t) = \frac{\mu}{\lambda+\mu} (1 + \frac{\lambda}{\mu} \exp(-(\lambda + \mu)t)) \tag{IV.13}$$

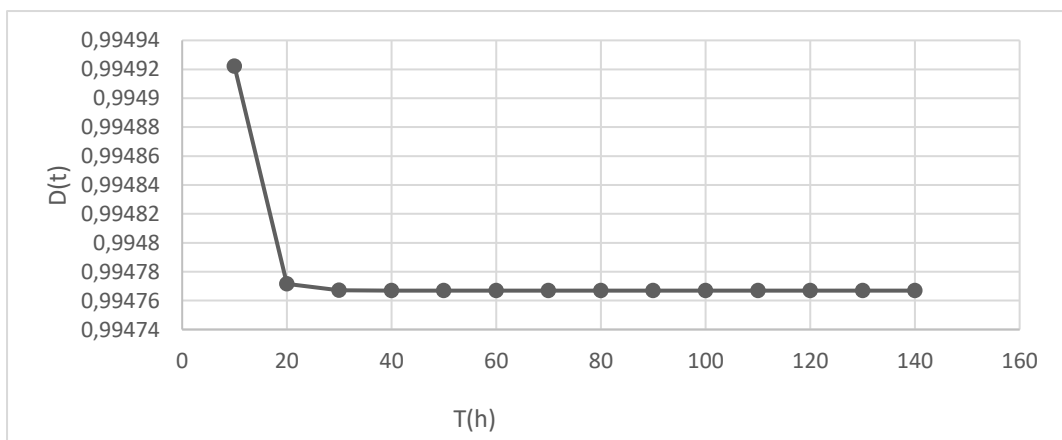
$$MTBF = 1/\lambda \rightarrow \lambda = 1/MTBF = 1/ 543,121 = 0,000184$$

$$MTTR = 1/\mu \rightarrow \mu = 1/MTTR = 1/2.85714 = 0.35000$$

$$\lambda + \mu = 0,000184+0,035000= 0,035184$$

**Tableau IV. 8.** Tableau de disponibilité instantané

T(h)	d(t)
10	0,994922072
20	0,9947715
30	0,994767036
40	0,9947669
50	0,9947669
60	0,9947669
70	0,9947669
80	0,9947669
90	0,9947669
100	0,9947669
110	0,9947669
120	0,9947669
130	0,9947669
140	0,9947669



**FIG IV. 8.** Disponibilité instantanée

#### IV.9. Analyse de risque :

- **Indice de gravité G :**

**Tableau IV. 9.** Indice de gravité

GRAVITE	DESCRIPTION
1	Simple
2	Faible
3	Haute
4	Très haute

- **Indice de fréquence F :**

**Tableau IV. 10.** Indice de fréquence F

Fréquence	DESCRIPTION
1	Rarement
2	Régulier
3	Souvent
4	Toujours

- **Indice de détection du risque D :**

**Tableau IV. 11.** Indice de détection D

DETECTION	DESCRIPTION
1	Détection Très rapide
2	Détection rapide
3	Détection possible
4	Détection retardée

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

$$C=G*F*D$$

IV.10. L'Analyse AMDEC :

Tableau IV. 12. AMDEC

Elément	Fonction	Mode de défaillance	Causes	Effets	Détection	F	D	G	C	Actions correctives
Compresseur	Augmentation de la pression	-Rupture -Echauffement	- Desserrage des vis D'assemblage -Surcharge - Fatigue -Désalignement	- Mauvaise transmission -Usure des paliers -Usure des dents d'engrenages -Dégradation de fonctionnement de compresseur - Vibrations	- Visuel	3	1	3	9	-Réalignement - Serrage de système de fixation -changement D'accouplement

Accouplement Moteur Pneumatique / Réducteur	Transmettre la Puissance de la Turbine au Réducteur	-Rupture -Echauffement	- Desserrage des vis D'assemblage -Surcharge - Fatigue -Désalignement	-Mauvaise transmission -Usure des paliers -Usure des dents d'engrenages -Dégradation de fonctionnement de compresseur - Vibrations	-Visuel	3	1	3	9	-Réalignement -Serrage de système de fixation
Les vannes	-Commander Manuellement Le débit	-Fuit -Coincement	-Corrosion -Joins Défectueux	-Perte de Pression -Difficulté à Contrôler	-Visuel	3	1	3	9	-Changement De la vanne
Soupape De Sécurité	Empêcher Les surpressions	- La soupape Ne se ferme pas Correctement	- un mauvais Réglage du Jeu De la soupape	-manque de Volume et de Pression d'eau su	-Visuel	2	1	3	6	-Vérifier les Jeux des Soupapes -Remplacement De soupape.

Réducteur	Déplacement De chariot Finale	-Vibrations -Endommagement Des roulements	-Manque De sérage -Fatigue -vibrations	-Arrête Le chariot Finale -Vibrations -Mauvais Fonctionnement	-Visuel	1	2	3	6	-Changement Des roulements -Assurer une Bonne Lubrification
Manomètre	Indiquer la pression dans les circuits internes	Indication erronée	Déréglage			1	1	4	4	Changement De MANOMETRE
Capture de niveau	Vérifier qu'il y a Suffisamment D'eau et d'air Dans le Réservoir (HP)	Pas de détection	Fatigue de La partie Mécanique du Capteur	Test faible	Auditif et Visuel	2	1	4	8	Révision Du capteur
Circuit Pompe	Etablir la liaison Hydraulique Entre La pompe et La soupape De décompression	Fuites	-Fatigue -Corrosion	Arrêt machine	-Visuel (manomètre)	1	3	4	12	Resserrer où Changement Les tuyaux



Joint de teste	Étanchéité	Fuit extérieur	La fatigue	Sortie d'eau Éclatement	-Visuel	4	3	4	48	Changement Joint
Filtre	Filtre D'eau	Filtre Déchiré	Marche Dégradé	Marche Dégradé	-Auditif	4	2	3	24	Changement Filtre
Chariot finale	Blocage de Tube	Ne démarre Pas	La commande Ne fonctionne Pas	Ne serez pas Le tube	-Visuel	1	2	4	8	-Serrage de Système de Fixation
Pompe Remplissage	Rempli le tube	Ne s'arrête pas	Manque de L'eau	Augmenter La latence De remplissage	-Visuel	3	1	2	6	Contrôle Chaque 3 Semaine (Maintenance Préventive)

Groupe hydraulique	Assurer La commode Hydraulique	Fuite externe	La fatigue	Arrête La pompe	-Visuel	4	2	3	24	Contrôle Chaque 1 Semaine (Maintenance Préventive)
Pompe HP	Augmentation De pression	Fuite externe	Corrosion	La réduction De pression Pompe Ne s'arrête pas	-Visuel	3	3	4	36	-Changement Pompe HP
		Fuite interne	Piston pourri	Fable pression	-Visuel	1	2	3	6	-Changement Piston

**IV.11. La hiérarchisation (classement par criticité) :**

Difficultés fondamentales de la recherche visant à prévoir les problèmes et à trouver des solutions 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. 13.** Classe de criticité

Valeur de la criticité	Politique de la maintenance
$C < 10$	Mise sous corrective.
$10 \leq C < 20$	Mise sous préventif à la fréquence faible.
$20 \leq C < 30$	Mise sous préventif à la fréquence élevée
$30 \leq C < 40$	Recherche amelioration.
$40 \leq C < 50$	Reprendre la conception

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

**Tableau IV. 14.** Classement décroissant par priorité

Elément	Valeur's de la criticité	Politique de la maintenance
1. Joint de teste	48	-Reprendre la conception
2. Filter	24	-Mise sous préventif à la fréquence élevée
3. Groupe Filter	24	
4. Pompe HP	16	-Mise sous préventif à la fréquence faible.
5. Circuit Pompe	12	
6. Les vannes	9	-Mise sous corrective.
7. Compresseur	9	

8. Accouplement moteur pneumatique / Réducteur	9	
9. Capture de niveau	8	
10. Chariot finale	8	
11. Soupape De Sécurité	6	
12. Pompe remplissage	6	
13. Réducteur	6	
14. Manometer	4	

#### IV.12. Recommandations :

Après l'analyse de sous-systèmes et l'interprétation des résultats, nous être présentent des solutions et recommandations pour les composants, afin de réduire l'occurrence élève, ce qui conduit à une criticité réduite. Le tableau suivant présente les solutions proposées :

**Tableau IV. 15.** Plan de maintenance préventive

Machine : banc d'essai hydrostatique R-wp2500							
Operation executable en fonctionate		Fréquence					Observations
Composant	Operations	J	M	T	S	A	
Joint de teste	Vérifier Joint de teste	X					Visuelle
Filtre	Nettoyer la cartouche de filtre		X				Visuelle
Groupe hydraulique	Vérifier la qualité de l'huile dans le système de lubrification		X				Les caractéristiques d'huile
Pompe hp	Changeset Piston			X			Visuelle

Circuit Pompe	Reassurer ou Changement les tuyaux		X				Manomètre
Date:	J= jour, M mensuel, T = trimestrielle, S = semestrielle- A = annuelle						

#### IV.13. Conclusion :

nous avons pris l'historique de la machine choisie puis on a calculé les TBF et les TTR, puis on a appliqué la loi de Weibull afin de trouver la fonction de répartition réelle et théorique qu'est à pour but de choisir la méthode convenable pour estimer la fiabilité, La maintenabilité et la disponibilité de cette machine. et après nous avons complété l'aspect le plus important de nos recherches, à savoir le remplissage du tableau AMDEC avec les résultats de notre analyse du système de Banc d'essai hydrostatique, ainsi que de mentionner toute recommandation réalisable pour les défauts critiques que nous avons découverts

# *CONCLUSION GENERALE*

Dans notre travail nous avons étudié les concepts généraux et de base sur la maintenance sont introduits, et Expliquez leur importance en expliquant leurs définitions, leurs avantages. Genre, action et les niveaux de maintenance sont bien expliqués, ainsi que les descriptions paramétriques Sécurité opérationnelle.

Nous avons fait un stage chez ALFA PIPE, le but de ce stage était d'entrer en contact avec le milieu industriel, de comprendre la charte de l'entreprise, et nous avons eu un aperçu général des produits de l'entreprise et de leurs employés., cette connaissance nous a conduit à choisir une machine importante, qui est une machine de banc d'essai hydrostatique, Ensuite, nous avons enregistré leur historique d'échec.

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 d'arrêt (TTR) pendant trois ans (2021 /2020/2019). On a utilisé le papier de Weibull pour estimer Les paramètres de méthode de Weibull, et on trouve que  $\beta = 1.6$ ,  $\eta=607,3752$ ,  $\gamma=0$  et à partir de ce résultat nous signifiera que la machine est dans la période d'obsolescence (vieillesse) est soumis à des défaillances à cause de fatigue et d'usure.

Sur la base des résultats, il a été déterminé que la fiabilité de la machine est extrêmement faible  $R(T) = 44\%$  en raison de son adoption de maintenance corrective et d'une augmentation du temps d'arrêt. Enfin, dans ce travail, nous pouvons voir comment la maintenance préventive influence l'amélioration de la fiabilité et de la disponibilité de la machine

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :**

- [1] Guide de la maintenance, Daniel Boitel et Claude Hazard, Edition Nathan 1990.
- [2] Bank historique du département de la maintenance, ALFAPIPE, Tuberie Ghardaïa.
- [3] MEHALLI Mouatez ,BillahBENAMOR Elhadj(Identification expérimentale des caractéristiques mécaniques de l'acier X70 D'ALFAPIPE) Université Kasdi Merbah Ourgla,2020
- [4] A. BELHOMME, Cours de stratégie de maintenance.
- [5] BELLAOUAR Ahmed et BELEULMI Salima, Fiabilité Maintenabilité Disponibilité, Algérie, Université Constantine1, Département Génie des Transports.
- [6] DJEKAOUA MOUNSIF - HACINI ACHRAF. (Etude de maintenance et FMD de la machine à souder S-SPM 2000 de L'entreprise ALFA PIPE Ghardaïa) Université de Ghardaïa,2020.
- [7] Bernard MÉCHIN, Introduction aux méthodes de maintenance, 2005.
- [8] Romain LESOBRE , Modélisation et optimisation de la maintenance et de la surveillance des systèmes multi-composants ,Thèse de Doctorat , UNIVERSITÉ DE GRENOBLE , 2015.
- [9] Sylvain DELAGE, Développement d'une méthodologie de qualification de systèmes complexes par des essais de fiabilité, Thèse de Doctorat, Université Bretagne Loire,2018.
- [10] BENSACI MAHMOUD, Surveillance, détection et diagnostic des défaillances dans une machine tournante , Thèse de Doctorat, UNIVERSITE DU 20 AOUT 1955 SKIKDA ,2019.
- [11] BENNECIB SOFIANE ,étude analytique FMD d'une banc d'épreuve 500, Mémoire de Master, Badji Mokhtar –Annaba,2017.
- [12] BELEKEBIR Lamine : Etude de FMD et l'analyse de l'AMDEC sur la turbine à gaz, Mémoire de Master, Université de Ghardaïa,2019.
- [13] Les Archives de l'ENDURO isde1999 .
- [14] Laurent Giraud, La maintenance - État de la connaissance et étude exploratoire, l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST),2008.
- [15] ASBAI Samir, Evaluation des caractéristiques de la sûreté de fonctionnement d'une turbine à gaz, Mémoire de Master, Université A. MIRA Bejaïa,2017.

Optimisation de la fiabilité d'un système électromécanique. Thèse de Master, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF – M'SILA 2018.

[17] ADRAR Yassine, HAYOUNE Abdenour, Analyse des causes de défaillance d'une centrifugeuse à disques et mise en place d'actions correctives (AMDEC), Mémoire de fin d'études, Université Bejaia.

[18] FANOMEZAMALALA, Domoina Mirana. Contribution à la mise en place d'un système qualité au sein du département climatisation de la société GUILMANN, Mémoire de master, université d'Antananarivo.

[19] BABASSI Akram, Standardisation des AMDEC processus et l'élaboration d'un plan de surveillance, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah Faculté des Sciences et Techniques de Fès Département de Génie Industrie.



Tableau IV. 16. Annex

$\beta$	A	B	$\beta$	A	B	$\beta$	A	B	$\beta$	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	1,56977E+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	2,17897E+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