



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
La république algérienne démocratique et populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et des Recherches Scientifiques

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد  
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة و الأمن الصناعي  
Institut de maintenance en Instrumentation

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention de diplôme master

Filière: Génie industriel  
Spécialité : Génie industriel

Thème

**Amélioration de la maintenance basée  
Sur fiabilité des Equipements industriels**

Présente et soutenu publiquement par :  
Zakaria Khaldi et Othman Doubal

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
BELABBES ABDALLAH	MCB	IMSI-université d'oran 2	Président
AOUMER YAMINA	MAA	IMSI-université d'oran 2	Encadreur
HARROUZ KELTHOUM	MCB	IMSI-université d'oran 2	Examinateur

2023/2024

## Dédicaces

### "وآخر دعوانهم أن الحمد لله رب العالمين"

*Je dédie ce travail à l'âme de mon père « Hadji Othman »*

رحمه الله

*J'aurais souhaité que vous soyez avec moi aujourd'hui pour*

*Compléter mon bonheur.*

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Mes frères : Walid, Habib, Abdenour, Nouri, Racha*

*Mes sœurs : Imene, Nesrin,*

*Pour leurs soutient morale et financier dans les moments  
les plus difficiles.*

*A mes amis et mes collègues de la promotion 2024 :*

*Abdenour, Walid, habib, kenza, bouchra, smail, haroun,*

*Nihel, abdullahi, abdou*

*A tout ce qui m'ont aidé du près ou du loin durant les  
moments difficiles.*

*Doubal Othman*

La route était longue et l'arrivée aussi difficile que  
majestueuse et grandiose

Louange à Dieu qui m'a permis de valoriser cette étape de  
mon parcours universitaire.

Au sourire de ma vie, mon cher père, les mots ne peuvent  
exprimer ma gratitude et mon appréciation pour tout ce  
que tu m'as donné tout au long

Ta vie, salut à ton grand cœur, toute l'appréciation et  
l'amour, ma bien-aimée.

À la fontaine de tendresse, ma chère mère, qui s'est  
sacrifiée pour moi et n'a ménagé aucun effort pour me  
rendre heureux, oh

La lampe de ma vie, ma bien-aimée.

A mes frères

À vous, mes amis hamid et valid et à tous ceux qui ont  
partagé ma joie.

Khaldi zakaria

## *Remerciements*

Tout d'abord, nous remercions Dieu Tout-Puissant qui nous a  
donné la force.

Le courage et la volonté d'atteindre tous nos objectifs, et tous les  
enseignants qui ont

Contribuer à notre formation dans tous les cours.

Nous tenons à remercier avec une gratitude particulière

À notre superviseur

Qui nous a guidé, encouragé et soutenu tout au long de notre  
travail.

Nous tenons également à remercier les membres du jury de nous  
avoir fait

Nous sommes honorés d'accepter la dévaluation de notre travail.

Enfin, nous remercions tous ceux qui ont contribué directement  
ou indirectement à ce projet.

Faites notre travail.

# SOMMAIRE

Introduction.....	1
-------------------	---

## Chapitre I : Généralités sur la maintenance

I. Introduction : .....	3
I.1. Historiques de la maintenance : .....	3
I.2. Définition de la maintenance .....	4
3. La stratégie de maintenance : .....	4
I.4. L'importance de la maintenance : .....	5
I.5. Les objectifs de la maintenance : .....	5
I.6. Le rôle de maintenance : .....	5
I.7. Les niveaux de maintenance : .....	6
I.8. Les opérations de maintenance : .....	6
I.9. Les méthodes de maintenance : .....	8
I.9.1. Maintenance corrective : .....	8
I.9.1.1. Les types de maintenance corrective .....	8
I.9.2. Maintenance préventive : .....	9
I.9.2.1. But de la maintenance préventive .....	9
I.9.2.2. Les types de la maintenance préventive : .....	9
I.9.3. La maintenance améliorative : .....	9
I.9.3.2. Objectifs de la maintenance améliorative : .....	10
I.9.3.3. Les opérations de la maintenance améliorative: .....	10
II.10. Conclusion : .....	11

## Chapitre II : Généralités fiabilité, maintenabilité et la Disponibilité

II. Introduction.....	13
II.1. La maintenance basée sur la fiabilité .....	13
II.1.1. Origine MBF .....	13
II.1.2. Définitions : .....	14
II.2. Etude de FMD .....	14
II.2.1. Définition La fiabilité : .....	14
II.2.2 Objectif de fiabilité : .....	14
II.2.3 Les différents types de fiabilité .....	14

II.2.4 Paramètres nécessaires alla mesure de fiabilité :	14
II.2.5 Temps moyen de bon fonctionnement :	17
II.2.6 La loi de Wei bull :	17
II.2.7 Estimation des paramètres de la loi de Wei bull :	20
II.2.7.1 Préparation des données :	20
II.3. La maintenabilité	21
II.3.1 Définition	21
II.3.2. Les temps de maintenance :	22
II.4. Disponibilité	23
II.4.1 Définition :	23
II.4.2 Les types de Disponibilité :	23
II.5. Méthode de Pareto « ABC » :	24
II.5.1 But de la méthode ABC	24
II.5.2. Représentation Graphique	24
II.6. Conclusion :	25

### **Chapitre III : la machine Thimonnier m3200**

III. Introduction :	27
III.1. La présentation de la machine Thimonnier m3200 :	28
III.2. Caractéristiques Techniques de la Thimonnier M3200 :	30
III.3. Présentation de l'unité:	33
III.4. Déroulement d'une journée dans l'unité de production utilisant la machine M3200 :	34
III.5. Les pannes de la machine M3200 durant l'année 2023 :	35
III.6. Maintenance de la Machine Thimonnier M3200 :	36
III.7. Conclusion :	41

### **Chapitre IV : Analyse de la machine Thimonnier m3200**

IV. Introduction :	43
IV.1. Etude de la fiabilité de Thimonnier M3200 :	43
IV.2. Calcul temps de bon fonctionnement	44
IV.4. Estimation des paramètres de la loi Wei Bull ( $\eta$ , $\beta$ , $\gamma$ ) :	45
IV. 4.1. Présentation générale de Mini tab :	45
IV.4.2. L'environnement de Mini tab	46
IV.4.3. Examen de la feuille de travail	46

IV.4.4. Représentation graphique des données .....	47
IV.4.5. Etude de la loi de Weibull :.....	48
IV.4.6. Test de Kolmogorov-Smirnov: .....	50
IV.5. Calcul la fiabilité de Thimonnier M3200 : .....	51
IV.6. Calcul de $R(t)$ , $F(t)$ , $\lambda(t)$ .....	51
IV.6.1 La fiabilité $R(t)$ : .....	51
IV.6.2 La fonction de répartition :.....	52
IV.6.3 Taux de défaillance :.....	53
IV.6.4 Densité de probabilité de défaillance : .....	54
IV.7. Etude de maintenabilité :.....	55
IV.8. Etude de disponibilité instantanée .....	57
IV.9. Conclusion:.....	58
 Conclusion générale.....	 60

## LISTE DES FIGURE

<i>Figure1 : Les méthodes de maintenance.....</i>	<i>8.</i>
<i>Figure2 : Courbe en baignoire.....</i>	<i>16</i>
<i>Figure3 : Principales propriétés de la distribution de Wei bull.....</i>	<i>20</i>
<i>Figure4 : Représentation sur graphique à échelle fonctionnelle de la distribution de Wei bull (graphique d'Allan Plait) .....</i>	<i>20</i>
<i>Figure5 : Les temps de maintenance.....</i>	<i>23</i>
<i>Figure6 : Diagramme Méthode de Pareto « ABC » .....</i>	<i>25</i>
<i>Figure7 : Thimonnierm3200.....</i>	<i>28</i>
<i>Figure8 : schéma des équipements Thimonnier M3200.....</i>	<i>30</i>
<i>Figure9 : Thimonnierm3200 dans l'entreprise.....</i>	<i>32</i>
<i>Figure 10 : usine Sarl Salsabil.....</i>	<i>34</i>
<i>Figure11 : Après Nettoyage de la machine.....</i>	<i>37</i>
<i>Figure 12 : Lubrification des pièces.....</i>	<i>38</i>
<i>Figure13 : Maintenance de la machine et changement des pièces .....</i>	<i>38</i>
<i>Figure14 : Analyse des données de la machines.....</i>	<i>39</i>
<i>Figure15 : Outils de diagnostic.....</i>	<i>40</i>
<i>Figure 16 : pièces de rechange.....</i>	<i>40</i>
<i>Figure17 : Ouverture d'une feuille de travail .....</i>	<i>46</i>
<i>Figure18 : Examen d'une feuille de travail .....</i>	<i>46</i>
<i>Figure 19 : Représentation graphiques des données .....</i>	<i>47</i>
<i>Figure20 : Analyse de répartition .....</i>	<i>48</i>
<i>Figure 21 : Estimation des données .....</i>	<i>49</i>
<i>Figure 22 : Papier de Wei Bull en logiciel Mini t.....</i>	<i>50</i>
<i>Figure 23 : La Courbe De la Fonction Fiabilité .....</i>	<i>52</i>
<i>Figure 24 : La Courbe De Fonction Répartition .....</i>	<i>53</i>
<i>Figure 25 : Le courbe taux de défaillance .....</i>	<i>54</i>
<i>Figure 26 : La Courbe de la densité de probabilité de défaillance .....</i>	<i>55</i>
<i>Figure 27 : La courbe de la maintenabilité .....</i>	<i>57</i>
<i>Figure 28 : Disponibilité instantané .....</i>	<i>58</i>

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. <i>Les pannes possibles de la Machine ThimonnierM3200</i> .....	36
Tableau 2. <i>Historique des pannes de la Machine Thimonnier M3200</i> .....	43
Tableau 3. <i>Classement de TBF calcul <math>F(t_i)</math></i> .....	45
Tableau 4. <i>Les différentes valeurs utilisées pour la distribution de Wei bull</i> .....	51
Tableau 5. <i>Calcul de la fiabilité</i> .....	52
Tableau 6. <i>Fonction de répartition <math>F(t)</math></i> .....	53
Tableau 7. <i>Calcul le taux de défaillance</i> .....	54
Tableau 8. <i>Calcul la fonction de la densité de probabilité</i> .....	55
Tableau 9. <i>Etude de maintenabilité</i> .....	56
Tableau 10. <i>Disponibilité instantanée</i> .....	57

## LISTE DES ABREVIATIONS

**AFNOR** : Agence Française de NORmalisation.

**MTBF** : Mean Time Between Failure (temps moyen entre deux défaillances)

**MTTF** : Mean Time To first Failure (temps moyen de bon fonctionnement avant la première défaillance)

**MBF** : La maintenance basée sur la fiabilité

**RCM** : Reliability Centered Maintenance

**OMF** : Optimisation de la maintenance par la fiabilité

**MUT** (Mean Up Time) : durée moyenne de bon fonctionnement après réparation

**MDT** (Mean Down Time) : durée moyenne de défaillance comprenant la détection de la panne, la durée d'intervention, le temps de la réparation et le temps de remise en service.

**MTTR** (Mean Time To Repair) : temps moyen de réparation.

**TBF** : Temps de bon fonctionnement

**TTR** : Moyenne des temps de réparation

**$\mu$** : Taux de réparation

**$\eta$** : Paramètre d'échelle

**$\beta$** : Paramètre de forme

**$\gamma$** : Paramètre de position

**$R(t)$**  : la fiabilité

**$\lambda$** : taux de défaillance

**$f(t)$** : Densité de probabilité de défaillance

**$M(t)$**  : la maintenabilité

**$D(t)$**  : la disponibilité

## Résumé :

La maintenance basée sur la fiabilité est devenue une approche importante de la gestion de la maintenance, car cette approche vise à prévenir les pannes et à augmenter au maximum la disponibilité des équipements. Les données de fiabilité et les informations en temps réel constituent la base de la prise de décision dans cette approche.

Le but de notre travail est d'étudier la maintenance de la machine de conditionnement Thimonnier M3200. Nous calculons les paramètres de distribution Weibull à l'aide d'un programme Minitab puis les testons avec test Kolmogorov-Smirnov. Nous examinons également la fiabilité de la machine et sa maintenabilité.

Mots clés : fiabilité, maintenance, Weibull, disponibilité

### ملخص

أصبحت الصيانة القائمة على الموثوقية نهجا هاما لإدارة الصيانة، حيث يهدف هذا النهج إلى منع الأعطال وزيادة توافر المعدات إلى أقصى حد. توفر بيانات الموثوقية والمعلومات في الوقت الحقيقي الأساس لاتخاذ القرار في هذا النهج.

الهدف من عملنا هو دراسة صيانة آلة التعبئة والتغليف. نقوم بحساب معلمات التوزيع باستخدام برنامج ثم نختبرها بالاختبار. نحن ننظر أيضاً إلى موثوقية الماكينة وقابلية صيانتها.

الكلمات المفتاحية: الموثوقية، الصيانة، التوفر.

### Abstract:

Serviceability-based maintenance is an important approach to maintenance management, as it comes close to preventing slabs and maximizing equipment availability. Solvency data and provisional information form the basis for decision-making in this regard.

Air conditioning machine maintenance is studied during our work. We calculate the distribution settings Weibull with the help of Minitab program and then perform the tests using Kolmogorov-Smirnov tester. Our tests also include machine serviceability and maintainability.

Keywords: executability, maintainability, availability

# *Introduction générale*

### Introduction

La maintenance joue un rôle essentiel dans la gestion et la performance des équipements industriels. Une maintenance efficace permet de minimiser les temps d'arrêt non planifiés, d'optimiser les coûts et d'améliorer la fiabilité des équipements. Cependant, la maintenance basée sur des stratégies traditionnelles peut être coûteuse et inefficace, car elle ne prend pas pleinement en compte la fiabilité réelle des équipements.

Dans ce mémoire d'étude intitulé "Optimisation de la maintenance par fiabilité", nous abordons l'importance d'adopter une approche basée sur la fiabilité pour la gestion de la maintenance industrielle.

Dans un premier temps, nous présenterons les principaux concepts liés à la maintenance basée sur la fiabilité. Nous examinerons les notions de fiabilité, de taux de défaillance, de durée de vie, ainsi que les différentes lois de probabilité utilisées pour modéliser le comportement des équipements dans le temps. Nous mettrons en évidence l'importance de la collecte et de l'analyse des données de défaillance pour évaluer la fiabilité des équipements.

Ensuite, nous aborderons les différentes stratégies de maintenance basée sur la fiabilité.

Nous présenterons les approches préventive, prédictive et conditionnelle, ainsi que leurs avantages et leurs limites. Nous soulignerons l'importance de la planification des activités de maintenance en fonction des prédictions de défaillance et des priorités opérationnelles.

Enfin, Dans la partie principale de ce mémoire, étude détaillée de la FMD qui permet de choisir une meilleure politique de maintenance la machine Thimonnier M3200.

# Chapitre I

## *Généralité sur la maintenance*

## I. Introduction :

Pour être et demeurer compétitive, une entreprise doit produire toujours mieux (qualité) et au coût le plus bas. Pour minimiser ce coût, on fabrique plus vite et sans interruption des produits sans défaut afin d'atteindre la production maximale par unité de temps.

L'automatisation et l'informatique ont permis d'accroître considérablement cette rapidité de production. Cependant, les limitations technologiques des moyens de production ne permettent pas d'augmenter continuellement les cadences.

De plus, produire plus sous-entend produire sans ralentissements, ni arrêts. Pour cela, le système de production ne doit subir qu'un nombre minimum de temps de non production.

Exceptés les arrêts inévitables dus à la production elle-même (changements de production, montées en température, etc.), les machines ne doivent jamais (ou presque) connaître de défaillances tout en fonctionnant à un régime permettant le rendement maximal.

Cet objectif est un des buts de la fonction maintenance d'une entreprise. Il s'agit de maintenir un bien dans un état lui permettant de répondre de façon optimale à sa fonction

### I.1. Historiques de la maintenance :

- **Avant la révolution industrielle :**

- ✓ Les artisans, tels que les menuisiers, forgerons et maçons, étaient responsables de la maintenance.

- ✓ Ils réparaient les bâtiments, les machines et les moyens de transport de l'époque

- ✓ La conception et la réparation étaient étroitement liées, et les défaillances étaient corrigées en fabriquant de nouvelles pièces ou en réparant les anciennes. [1]

- **Jusqu'en 1940 :**

- ✓ La maintenance corrective était la norme. On intervenait uniquement après une panne ou une défaillance.

- ✓ Elle était considérée comme un coût inévitable.

- **Pendant la Seconde Guerre mondiale :**

- ✓ La maintenance préventive a été largement adoptée, notamment par les Allemands.

- ✓ Elle consistait à effectuer des inspections et des réparations planifiées avant que des problèmes ne surviennent.

- **Depuis les années 1950 :**

✓ Les modèles de recherche opérationnelle ont été utilisés pour optimiser les politiques de maintenance.

✓ Ils ont permis de prendre des décisions éclairées sur le moment optimal pour effectuer des tâches de maintenance, en tenant compte des coûts et des avantages. [2]

- **Années 1970 et au-delà :**

✓ Des approches plus intégrées ont émergé, reconnaissant le lien entre la fiabilité et la maintenabilité.

✓ Le coût de la maintenance est devenu un élément essentiel du coût global du cycle de vie. [3]

- **Dans les années 1990 :**

✓ Des insuffisances ont été observées dans les pratiques de maintenance. Elle ne devrait pas être considérée uniquement dans un contexte opérationnel, mais également en prenant en compte les retombées économiques et les normes nationales et internationales de plus en plus exigeantes. Cette évolution a conduit à diverses pratiques de maintenance en entreprise.

**I.2. Définition de la maintenance :** la maintenance est « l'ensemble des activités ayant pour objectif de maintenir ou rétablir un bien dans un état spécifié de fonctionnement pour établir une fonction requise. »

### **3. La stratégie de maintenance :**

"La stratégie de maintenance est une méthode de management utilisée en vue d'atteindre les objectifs de maintenance."

Les choix de stratégie de maintenance permettent d'atteindre un certain nombre d'objectifs de maintenance :

- développer, adapter ou mettre en place des méthodes de maintenance.
- élaborer et optimiser les gammes de maintenance.
- organiser les équipes de maintenance.
- internaliser et/ou externaliser partiellement ou totalement les tâches de maintenance.
- définir, gérer et optimiser les stocks de pièces de rechange et de consommables.
- étudier l'impact économique (temps de retour sur investissement) de la modernisation ou de l'amélioration de l'outil de production en matière de productivité et de maintenabilité [3].

### **I.4. L'importance de la maintenance :**

La maintenance est importante pour l'industrie, ce qui paraît clair lors de l'occurrence des Pannes provoquant des arrêts non planifiés. Par conséquent, toute interruption au cours du fonctionnement cause, comme entre autres :

- Augmentation du coût de production.
- Diminution de la marge du profit.
- Rupture du stock.
- Retard des livraisons.
- Ajout des heures supplémentaires.
- Absence de sécurité des opérateurs.

Donc, si on planifie et on prévoit des entretiens planifiés avant l'occurrence des pannes, on Pourra surmonter ces conséquences. Pour ce faire, la partie suivante comprend des stratégies de maintenances [16].

### **I.5. Les objectifs de la maintenance :**

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

- la disponibilité et la durée de vie du bien.
- la sécurité des hommes et des biens.
- la qualité des produits.
- la protection de l'environnement.
- l'optimisation des coûts de maintenance. [3]

### **I.6. Le rôle de maintenance :**

Le service maintenance doit mettre en œuvre la politique de maintenance définie par la direction de l'entreprise cette Cependant, tous les équipements n'ont pas le même degré d'importance d'un point de vue maintenance. Cependant, tous les équipements n'ont pas le même degré d'importance d'un point de vue maintenance. Cependant, tous les équipements n'ont pas le même degré d'importance d'un point de vue maintenance. Le service devra donc, dans le cadre de la politique globale, définir les stratégies les mieux adaptées aux diverses situations. La fonction maintenance sera alors amenée à établir des prévisions ciblées :

- **Prévisions à long terme** : elles concernent les investissements lourds ou les travaux durables. Ce sont des prévisions qui sont le plus souvent dictées par la politique globale de l'entreprise.
- **Prévisions à moyen terme** : la maintenance doit se faire la plus discrète possible dans le planning de charge de la production. Il lui est donc nécessaire d'anticiper, autant que faire se peut, ses interventions en fonction des programmes de production. La production doit elle aussi prendre en compte les impératifs de suivi des matériels.
- **Prévisions à courts termes** : elles peuvent être de l'ordre de la semaine, de la journée, voire de quelques heures. Même dans ce cas, avec le souci de perturber le moins possible la production, les interventions devront elles aussi avoir subi un minimum de préparation. [5]

### I.7. Les niveaux de maintenance :

- **Niveau 1** : Réglages simples prévus par le constructeur au moyen d'organes accessibles sans aucun démontage d'équipement ou échange d'éléments accessibles en toute sécurité. Par l'exploitant sur place / Personnel de production Avec de l'outillage léger défini dans des procédures.
- **Niveau 2** : Dépannage par échange standard d'éléments prévus à cet effet ou d'opérations mineures de maintenance préventives (rondes) par un technicien habilité, sur place avec de l'outillage léger défini dans des procédures, ainsi que des pièces de rechange trouvées à proximité, sans délai.
- **Niveau 3** : Identification et diagnostic de panne, réparation par échange de composants fonctionnels, réparations mécaniques mineures. Par un technicien spécialisé, sur place ou en local de maintenance. Avec l'outillage prévu plus appareil de mesure, banc d'essai, contrôle...
- **Niveau 4** : Travaux importants de maintenance corrective ou préventive. Par une équipe encadrée par un technicien spécialisé, en atelier central. Avec de l'outillage général plus spécialisé, matériel d'essai, de contrôle...
- **Niveau 5** : Travaux de rénovation, de reconstruction ou réparations importantes confiées à un atelier central. Par une équipe complète, polyvalente, en atelier central. Avec des moyens proches de la fabrication par le constructeur. [4]

### I.8. Les opérations de maintenance :

- **Le dépannage** :

## Chapitre I: Généralités sur la maintenance

C'est une action ou opération de maintenance corrective sur un équipement en panne en vue de la remettre en état de fonctionnement. Cette action de dépannage peut s'accommoder de résultats provisoires et de conditions de réalisation hors règles de procédures, de coûts et de qualité, et dans ce cas sera suivi de la réparation. Souvent les interventions de dépannage sont de courtes durées mais peuvent être nombreuses et n'exigent pas la connaissance du comportement des équipements et des modes de dégradation. Le dépannage peut - être appliqué par exemple sur des équipements fonctionnant en continu dont les impératifs de production interdisent toute inspection ou intervention à l'arrêt.

### ➤ **La réparation :**

C'est une intervention définitive et limitée de maintenance corrective après panne ou défaillance. L'équipement réparé doit assurer les performances pour lesquelles il a été conçu. La réparation peut - être décidée, après décision, soit immédiatement à la suite d'un incident, ou d'une défaillance, soit après un dépannage, soit après une visite de maintenance préventive conditionnelle ou systématique.

### ➤ **Les inspections :**

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

### ➤ **Les visites :**

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

### ➤ **Les contrôles :**

Ils correspondent à des vérifications de conformité par rapport à des données préétablies suivies d'un jugement. Le contrôle peut, comporter une activité d'information, inclure une décision, acceptation, rejet, ajournement, déboucher comme les visites sur des opérations de maintenance corrective. Les opérations de surveillance (inspection, visite, contrôle) sont nécessaires pour maîtriser l'évolution de l'état réel du bien, effectuées de manière continue ou à des intervalles prédéterminés ou non, calculés sur le temps ou le nombre d'unités d'usage.

### ➤ Les révisions :

Ensemble des actions d'examen, de contrôles et des interventions effectuées en vue d'assurer le bien contre toute défaillance majeure ou critique, pendant un temps ou pour un nombre d'unités d'usage donné. Il est d'usage de distinguer suivant l'étendue de cette opération les révisions partielles des révisions générales. Dans les deux cas, cette opération implique la dépose de différents sous-ensembles. [7]

### I.9. Les méthodes de maintenance :

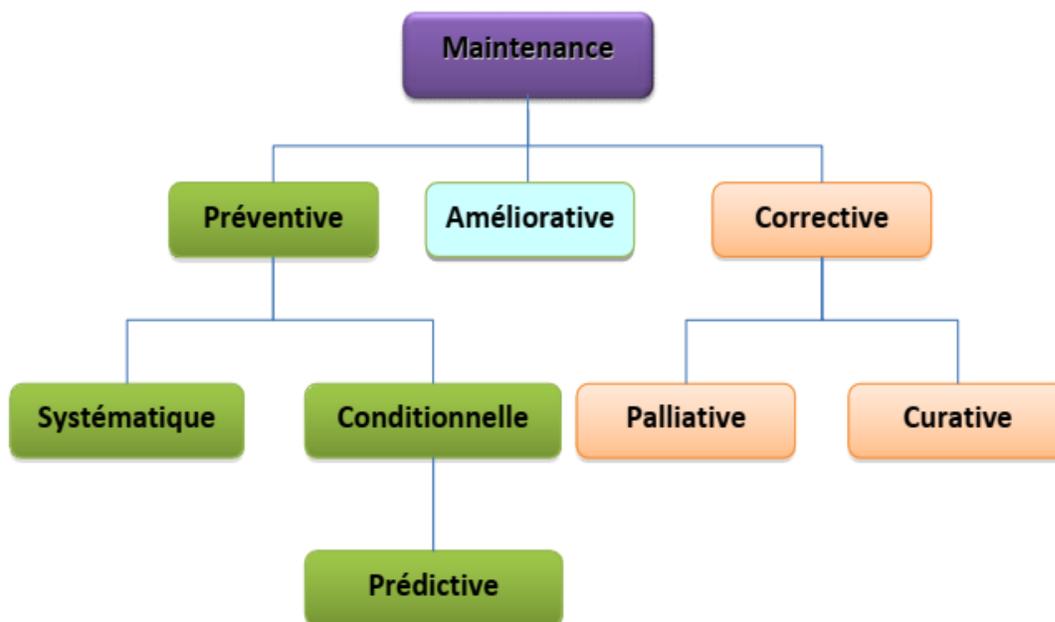


Figure 1 : Les méthodes de maintenance

#### I.9.1. Maintenance corrective :

La recherche permanente du meilleur rapport, usage/coût, peut conduire à accepter la défaillance d'un équipement avant d'envisager des actions de maintenance.

##### I.9.1.1. Les types de maintenance corrective : [8]

**a. Maintenance curative :** Ce type de maintenance permet de remettre définitivement en état le système après l'apparition d'une défaillance. Cette remise en état du système est une réparation durable.

**b. Maintenance palliative :** Action de maintenance corrective destinée à permettre à un bien d'accomplir provisoirement tout ou partie d'une fonction requise.

Appelée couramment « dépannage », la maintenance palliative est principalement constituée d'actions à caractère provisoire qui doivent être suivies d'actions curatives.

### **I.9.2. Maintenance préventive :**

C'est la maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien.

#### **I.9.2.1. But de la maintenance préventive**

- Augmenter la durée de vie des matériels ;
- Diminuer la probabilité des défaillances en service ;
- Diminuer le temps d'arrêt en cas de révision ou de panne ;
- Prévenir et aussi prévoir les interventions de la maintenance corrective coûteuse ;
- Permettre de décider la maintenance corrective dans de bonnes conditions ;
- Eviter les consommations anormales d'énergie, de lubrifiant, etc ;
- Diminuer le budget de la maintenance ;
- Supprimer les causes d'accidents graves.[18]

#### **I.9.2.2. Les types de la maintenance préventive [5] :**

**a. Maintenance systématique :** C'est la maintenance préventive effectuée sans contrôle préalable de l'état du bien conformément à un échéancier établi selon le temps, le nombre de cycles de fonctionnement, le nombre de pièces produites ou un nombre prédéterminé d'usages pour certains équipements (révisions périodiques) ou organes sensibles (graissage, étalonnage, etc..).

**b. Maintenance conditionnelle :** C'est la maintenance préventive conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien.

**c. Maintenance prévisionnelle :** C'est la maintenance préventive conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien.

### **I.9.3. La maintenance améliorative :**

L'amélioration des biens d'équipement est un ensemble des mesures techniques, administratives et de gestion, destinées à améliorer la sûreté de fonctionnement d'un bien sans changer sa fonction requise (norme NF EN 13306). On apporte donc des modifications à la conception d'origine dans le but d'augmenter la durée de vie des composants, de les standardiser, de réduire la consommation d'énergie, d'améliorer la maintenabilité, etc. La maintenance améliorative est un état d'esprit nécessitant un pouvoir d'observation critique et une attitude créative. Un projet d'amélioration passe obligatoirement par une étude économique sérieuse : l'amélioration doit être rentable. [17]

### **I.9.3.2. Objectifs de la maintenance améliorative :**

L'amélioration doit être rentable. Tout le matériel est concerné, sauf bien sûr, le matériel proche de la réforme. Les objectifs de la maintenance améliorative d'un bien sont :

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

### **I.9.3.3. Les opérations de la maintenance améliorative:**

#### ➤ **La rénovation**

Inspection complète de tous les organes, reprise dimensionnelle complète ou remplacement des pièces déformées, vérification des caractéristiques et éventuellement réparation des pièces et sous-ensembles défailants, conservation des pièces bonnes. La rénovation apparaît donc comme l'une des suites possibles d'une révision générale au sens strict de sa définition.

#### ➤ **La reconstruction**

Remise en l'état défini par le cahier des charges initial, qui impose le remplacement de pièces vitales par des pièces d'origine ou des pièces neuves équivalentes. La reconstruction peut être assortie d'une modernisation ou de modifications. Les modifications apportées peuvent concerner, en plus de la maintenance et de la durabilité, la capacité de production, l'efficacité, la sécurité, etc.

#### ➤ **La modernisation**

Remplacement d'équipements, accessoires et appareils ou éventuellement de logiciel apportant, grâce à des perfectionnements techniques n'existant pas sur le bien d'origine, une amélioration de l'aptitude à l'emploi du bien. Cette opération peut aussi bien être exécutée dans le cas d'une

rénovation, que dans celui d'une reconstruction. La rénovation ou la reconstruction d'un bien durable peut donner lieu pour certains de ses sous-ensembles ou organes à la pratique d'un échange standard [17].

### **II.10. Conclusion :**

A la fin de ce chapitre on remarque que la maintenance est très importante dans l'industrie pour diminuer les coûts et éviter les accidents et est une fonction complexe qui, selon le type de processus, peut être déterminante pour la réussite d'une entreprise. Les fonctions qui la composent et les actions qu'elle réalise doivent être soigneusement dosées pour que les performances globales de l'outil de production soient optimisées.

# Chapitre II

*Généralités fiabilité,  
maintenabilité et la disponibilité*

### II. Introduction

Les contraintes financières, environnementales mais aussi de sûreté de fonctionnement obligent concepteurs et responsables de maintenance à améliorer la fiabilité des équipements. Tout responsable de maintenance doit assurer la fiabilité et la disponibilité des équipements au coût optimal.

Pour cela il est nécessaire qu'il détermine la meilleure politique de prévention et de gestion des installations de production ainsi que celles des pièces de rechange. Il s'appuiera sur un retour d'expérience pour évaluer la fiabilité des équipements.

#### II.1. La maintenance basée sur la fiabilité

##### II.1.1. Origine MBF

La MBF ou RCM a été introduite dans l'aéronautique aux états unis vers 1960 pour déterminer les programmes de maintenance. La publication d'un document appelé MSG a fixé les bases de la méthode de développement d'un programme de maintenance pour tous les intervenants de la maintenance aéronautique. L'évolution des directives MSG s'est traduit par une régression de la maintenance planifiée au profit des actions conditionnelles & puis l'optimisation économique dans le respect prioritaire de la sécurité.

En France, c'est en 1984 que le concept RCM a été introduit sous l'impulsion d'EDF qui désirait l'appliquer à ses installations nucléaires. C'est le projet OMF qui se définit comme une politique de maintenance ayant pour objet « de définir un programme de maintenance préventive afin de contribuer à maintenir, voire améliorer la fiabilité des fonctions des systèmes qui sont importantes pour la sécurité et la disponibilité des tranches nucléaires ». Les objectifs de l'OMF sont le maintien et l'amélioration de la sûreté nucléaire, la maîtrise des coûts et l'optimisation économique de la maintenance, la mise en œuvre d'une méthode structurée par analyse des défaillances fonctionnelles, l'utilisation du retour d'expérience pour réajuster les programmes de maintenance. L'idée d'adapter la RCM à l'industrie a été développée en France vers 1996. La démarche repose sur l'analyse technique des équipements et sur une implication forte des agents de maintenance. L'objectif est toujours d'améliorer la disponibilité des équipements.[19]

### II.1.2. Définitions :

**RCM** : stratégie de maintenance globale d'un système utilisant une méthode d'analyse structurée permettant d'assurer la fiabilité inhérente à ce système.

**MBF** : Méthode destinée à établir un programme de maintenance préventive permettant d'améliorer progressivement le niveau de disponibilité des équipements critiques. La méthode repose essentiellement sur la connaissance précise du comportement fonctionnel et dysfonctionnel des systèmes.[19]

### II.2. Etude de FMD

#### II.2.1. Définition La fiabilité :

La fiabilité est l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise, dans des conditions et pour une durée donnée. Cette définition peut être formulée différemment : la fiabilité d'une entité est la probabilité moyenne de non défaillance de cette entité sur un intervalle de temps donné. Les paramètres importants de la fiabilité sont donc les conditions d'utilisation du système, le temps ou le nombre de cycles. La fiabilité d'un dispositif dépend aussi de la fonction remplie par ce dispositif [14].

#### II.2.2 Objectif de fiabilité :

La fiabilité a pour objectif de :

- Mesurer une garantie dans le temps.
- Evaluer rigoureusement un degré de confiance.
- Déchiffrer une durée de vie.
- Evaluer avec précision un temps de fonctionnement.
- Déterminer la stratégie de l'entretien.
- Choisir le stock.

#### II.2.3 Les différents types de fiabilité :[21]

**a) fiabilité intrinsèque** : elle est propre à un matériel et à un environnement donné et ne dépend que de ce matériel.

**b) fiabilité extrinsèque** : elle résulte des conditions d'exploitation, de la qualité de la maintenance, d'une manière générale d'événement relatif à l'intervention humaine.

**c) fiabilité implicite**: basée sur l'expérience et dont le but est de réduire la fréquence et la durée des arrêts.

**d) fiabilité explicite:** dont le concept est formé mathématiquement, elle permet de déterminer rigoureusement le degré de confiance dans le matériel.

### II.2.4 Paramètres nécessaires alla mesure de fiabilité :

#### a. Fonction de fiabilité $R(t)$ :

Nous introduisons la variable aléatoire  $T$  qui représente le temps écoulé depuis la mise en service du dispositif à l'instant  $t = 0$  jusqu'à l'instant de sa première défaillance. La variable aléatoire  $T$  représente donc la durée de vie du dispositif ou, de manière équivalente, l'instant de sa défaillance. La variable aléatoire  $T$  est positive, elle est de plus supposée absolument continue.

La fonction de fiabilité est définie par :

$$R(t) = p(t \geq t), t \geq 0 \quad (1)$$

Pour un  $t$  fixé. Elle représente la probabilité de bon fonctionnement du dispositif étudié sur l'intervalle de temps  $[0, t]$ .

La fiabilité est donc une fonction du temps, encore appelée fonction de survie.

Remarque :

$R(t)$  est une fonction monotone décroissante à valeurs dans  $[0,1]$ .

Nous notons  $F(t)$  la fonction de répartition de la variable aléatoire  $T$ . L'absolue continuité de  $T$  nous permet de définir sa densité de probabilité, notée  $f(t)$ . [11]

**b. Densité de probabilité :** Généralement en fiabilité elle est notée  $f(t)$  et représente la probabilité de défaillance en un intervalle de temps  $(t)$ . [12]

$$f(t) = \lambda(t)e^{-\int_0^t \lambda(u)du} \quad (2)$$

#### c. Fonction de répartition : [12]

$F(t)$  est la notation générale de la probabilité de défaillance dans l'intervalle de temps  $[0, T]$ .

$$F(t) = \int_0^t f(x)dx = 1 - e^{-\int_0^t \lambda(u)du} \quad (3)$$

**d. La fonction de fiabilité :** nous appelons  $R(t)$  la fonction de fiabilité, qui représente la probabilité de fonctionnement sans défaillances pendant un temps  $(t)$ , ou la probabilité de survie jusqu'à un temps  $(t)$ .

La probabilité d'avoir au moins une défaillance avant le temps  $(t)$ , qui représente la probabilité cumulative des défaillances, est appelé : « probabilité de défaillance ». [12]

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\int_0^t \lambda(u)du} \quad (4)$$

## Chapitre II : Généralités fiabilité, maintenabilité et la Disponibilité

**e. Taux de défaillance :** Prenons maintenant une pièce ayant servi pendant une durée  $t$  et encore survivante. La probabilité qu'elle tombe en panne entre l'âge  $t$  qu'elle a déjà et l'âge  $T + dt$  est représentée par la probabilité conditionnelle qu'elle tombe en panne entre  $T$  et  $T + dt$ , sachant qu'elle a survécu jusqu'à  $T$ . D'après le théorème des probabilités conditionnelles cette probabilité est égale à :

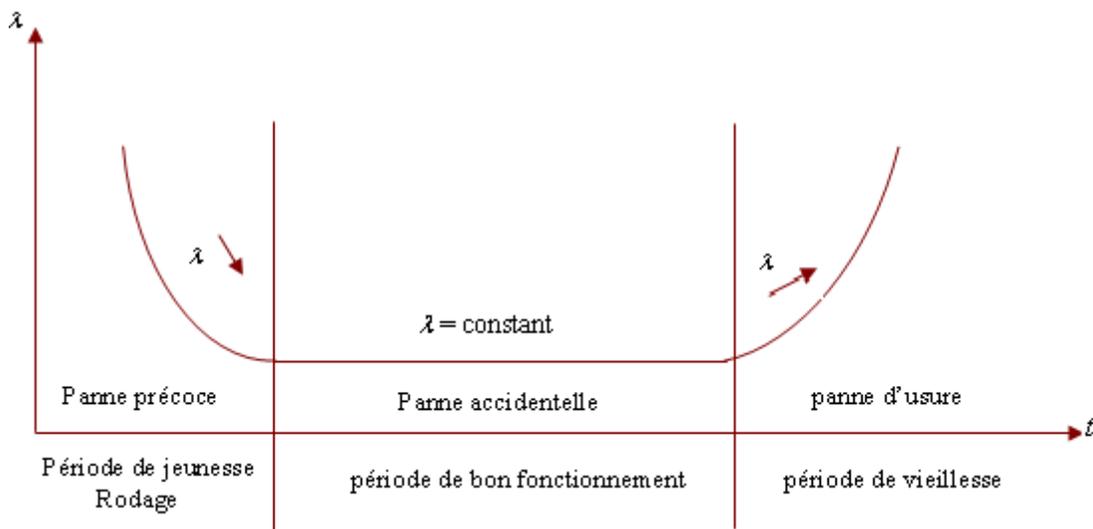
$$\lambda(t)dt = \frac{F(t+dt) - F(t)}{R(t)} = \frac{dF(t)}{1-F(t)} \quad (5)$$

Avec  $\lambda(t)$  taux de défaillance de la pièce d'âge  $t$ . On a donc :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (6)$$

$\lambda(t)$  s'exprime également par l'inverse d'un temps, mais n'est pas une densité de probabilité.

L'expérience montre que pour la plupart des composants, le taux de défaillance suit une courbe en baignoire représentée sur la figure suivante :



*Figure2 : Courbe en baignoire*

S'exprime également par l'inverse d'un temps, mais n'est pas une densité de probabilité. L'expérience montre que pour la plupart des composants, le taux de défaillance suit une

courbe en baignoire représenté sur la figure suivante :  
Cette courbe représente trois périodes :

La période de jeunesse ou de rodage : correspond à l'apparition de défaillances, dues à des mal façons ou à des contrôles insuffisants. Dans la pratique, le fabriquant procède à un rodage de son matériel afin d'éviter que cette période ne se produise après l'achat du matériel.

•**La période de bon fonctionnement** : dans cette période, le taux d'avaries est sensiblement constant, les avaries surviennent de manière aléatoire et ne sont pas prévisibles par examen du matériel ; ces défaillances sont dues à un grand nombre de causes et sont liées à la fabrication des dispositifs.

•**La période de jeunesse ou de rodage** : correspond à l'apparition de défaillances, dues à des mauvaises façons ou à des contrôles insuffisants. Dans la pratique, le fabriquant procède à un rodage de son matériel afin d'éviter que cette période ne se produise après l'achat du matériel.

•**La période de bon fonctionnement** : dans cette période, le taux d'avaries est sensiblement constant, les avaries surviennent de manière aléatoire et ne sont pas prévisibles par examen du matériel ; ces défaillances sont dues à un grand nombre de causes et sont liées à la fabrication des dispositifs.

•**La période de vieillissement** : le taux d'avaries est croissant, cette période correspond à une dégradation irréversible des caractéristiques du matériel, d'où une usure Progressive. [14]

### II.2.5 Temps moyen de bon fonctionnement :

Le MTBF (Mean Time Between Failure) est souvent traduit comme étant la moyenne des temps de bon fonctionnement mais représente la moyenne des temps entre deux défaillances. En d'autres termes, Il correspond à l'espérance de la durée de vie  $t$ .

$$MTBF = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (7)$$

Physiquement le MTBF peut être exprimé par le rapport des temps

$$MTBF = \frac{\sum \text{le temp de bon fonctionnement}}{\text{nombre d'intervalles de bon fonctionnement}}$$

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

### II.2.6 La loi de Weibull : [10]

## Chapitre II : Généralités fiabilité, maintenabilité et la Disponibilité

L'expression loi de Wei bull recouvre en fait toute une famille de lois, certaines d'entre elles apparaissent en physique comme conséquence de certaines hypothèses. C'est en particulier, le cas de la loi exponentielle ( $\beta = 1$ ) et de la loi normale ( $\beta = 3$ ). Ces lois constituent surtout des approximations particulièrement utiles dans des techniques diverses alors qu'il serait très difficile et sans grand intérêt de justifier une forme particulière de loi. Une distribution à valeurs positives (ou, plus généralement mais moins fréquemment, à valeurs supérieures à une valeur donnée) a presque toujours la même allure. Elle ne part d'une fréquence d'apparition nul, croît jusqu'à un maximum et décroît plus lentement. Il est alors possible de trouver dans la famille de Wei bull une loi qui ne s'éloigne pas trop des données disponibles en calculant  $\beta$  et à partir de la moyenne et la variance observées. Sa fonction de fiabilité est :

$$R(t) = e^{-\left[\frac{t-\gamma}{\eta}\right]^\beta} \quad (8)$$

Avec les paramètres et signification :

$\gamma, \beta, \eta$  définissent la distribution de Wei bull.

On utilise trois paramètres :

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

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

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

**a. Densité de probabilité** : elle caractérise la probabilité de panne juste à temps.

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{t-\gamma}{\eta}\right]^{\beta-1} e^{-\left[\frac{t-\gamma}{\eta}\right]^\beta} \quad (9)$$

**b. Fonction de répartition** : elle représente la probabilité des pannes cumulée de défaillance entre 0 et t.

$$F(t) = 1 - e^{-\left[\frac{t-\gamma}{\eta}\right]^\beta} \quad (10)$$

**c. La fonction de fiabilité** : C'est la probabilité cumulée de non défaillance au-delà du temps.

$$R(t) = e^{-\left[\frac{t-\gamma}{\eta}\right]^\beta} \quad (11)$$

**d. Taux de défaillance** : c'est la probabilité instantanée d'une panne au temps  $(t + \Delta t)$  sachant que mon dispositif est bon à l'instant t.

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{t-\gamma}{\eta}\right]^{\beta-1} \quad (12)$$

**e. Le moyen de temps de bon fonctionnement MTBF :** c'est la racine de temps de bon Fonctionnement **MTBF** divisée par le nombre de pannes.

$$MTBF = \gamma + A \eta \quad (13)$$

$\beta$ : est le paramètre de forme du modèle. Nous constatons que : Si  $\beta < 1$  le taux de défaillances est décroissant, nous avons donc des pannes de jeunesse, si  $\beta = 1$  le taux de défaillances est constant et si  $\beta > 1$  e taux est croissant, panne de vieillesse ou maturité en mécanique.

$\eta$ : est le paramètre d'échelle et indique l'ordre de grandeur de la durée de vie moyenne.

$\gamma$ : est le paramètre de décalage, souvent il est égal à 0. Le modèle de Wei bull ne peut à lui seul représenter l'ensemble des cofacteurs influents sur la fiabilité de la macro composant, l'adjonction d'un modèle à hasard proportionnel sous forme de régression apporte une réponse.

### Recherche de $\gamma$

Si le nuage de points correspond à une droite, alors  $\gamma = 0$ . ( $\gamma = 0$ )

Si le nuage de points correspond à une courbe, on la redresse par une translation de tous les points en ajoutant ou en retranchant aux abscisses "t", une même valeur ( $\gamma$ ) afin d'obtenir une droite.

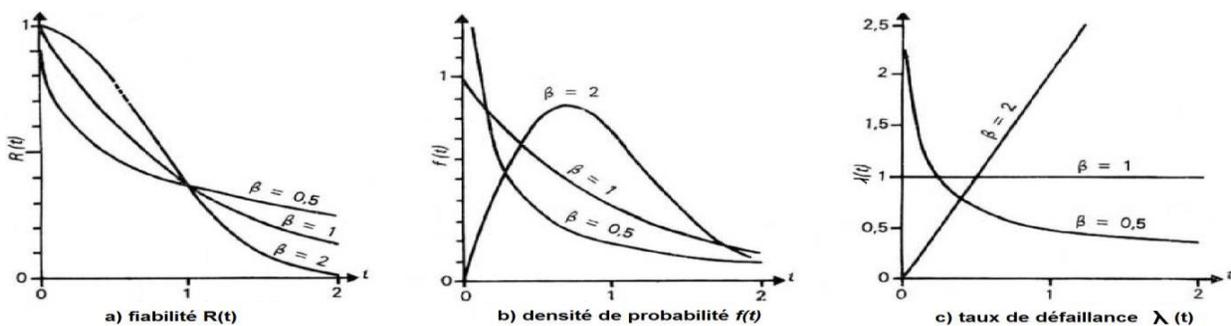
### Recherche de $\eta$ :

La droite de régression linéaire coupe l'axe A à l'abscisse  $t = \eta$ .

### Recherche de $\beta$ :

➤ Béta est la pente de la droite de corrélation

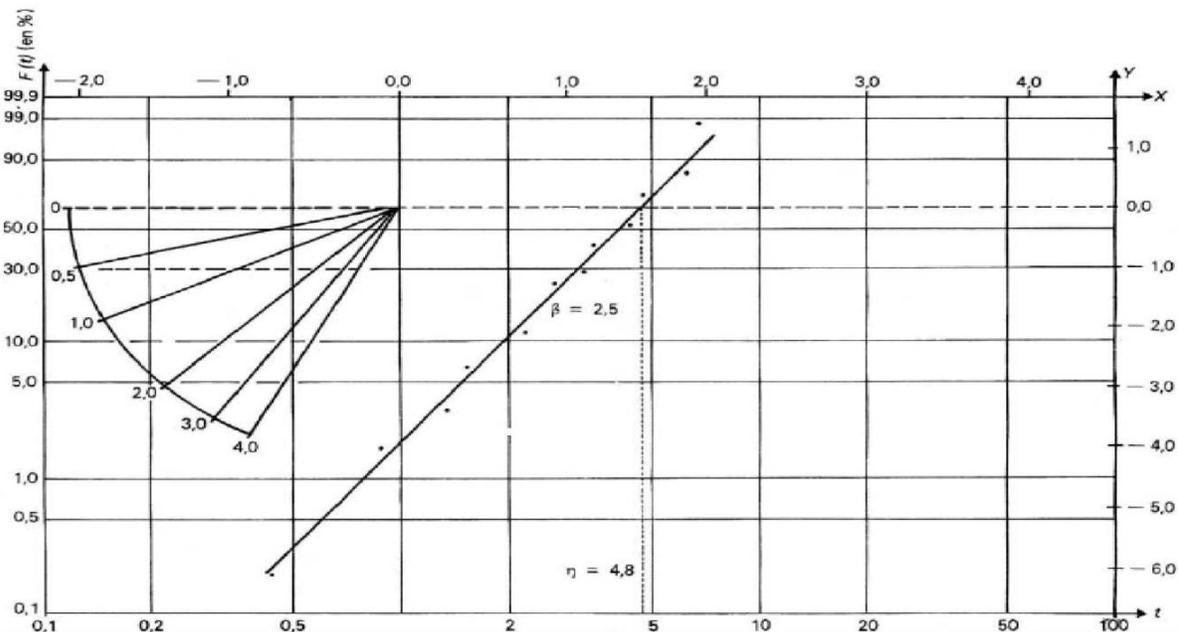
➤ On trace une droite parallèle à la droite de corrélation, et passant par  $\eta = 1$  On lit ensuite béta sur l'axe B. [10]



**Figure3: Principales propriétés de la distribution de Wei bull**

### II.2.7 Estimation des paramètres de la loi de Wei bull :

Un des problèmes essentiels est l'estimation des paramètres ( $\beta$ ,  $\eta$ ,  $\gamma$ ) de cette loi, pour cela, nous disposons de la méthode suivante :



**Figure4 : Représentation sur graphique à échelle fonctionnelle de la distribution de Wei bull (graphique d'Allan Plait).**

Axe de  $t$  en (heures), et l'axe de  $F(t)$  (en %).

L'historique permet de déterminer des Temps de bon fonctionnement et des fréquences cumulées de défaillance  $F(i)$ , approximation de  $F(t)$ .

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

#### II.2.7.1 Préparation des données :

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

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

On a 3 cas différents :

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

$$F(i) = \frac{N_i}{N} = \frac{\sum R_i}{N} \approx F(t) \quad (14)$$

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

$$F(i) = \frac{N_i}{N+1} \approx F(t) \quad (15)$$

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

$$F(i) = \frac{N_i - 0.3}{N + 0.4} \approx F(t) \quad (16)$$

Et on fait le Tracé du nuage des points  $M(F(i), t)$  :

### II.3. La maintenabilité [23]

#### II.3.1 Définition

Dans des conditions données, la maintenabilité est l'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.

**Maintenabilité = être rapidement dépanné**

C'est aussi la probabilité de rétablir un système dans des conditions de fonctionnement spécifiées, en des limites de temps désirées, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits.

**$M(t)$**  : La maintenabilité caractérise la facilité de remettre ou de maintenir un bien en bon état de fonctionnement.

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad (17)$$

A partir de ces définitions, on distingue :

**a. La maintenabilité intrinsèque** : elle est « construite » dès la phase de conception à partir d'un cahier des charges prenant en compte les critères de maintenabilité (modularité, accessibilité, etc.).

**b. La maintenabilité prévisionnelle** : elle est également « construite », mais à partir de l'objectif de disponibilité.

**c. La maintenabilité opérationnelle :** elle sera mesurée à partir des historiques d'interventions. L'analyse de maintenabilité permettra d'estimer la MTTR ainsi que les lois probabilistes de maintenabilité (sur les mêmes modèles que la fiabilité). Par définition le MTBF est la durée de vie moyenne du système.

**MTTR :** La maintenabilité est caractérisée par la moyenne des temps techniques de réparation

$$MTTR = \frac{\sum TTR}{N} \quad (18)$$

**c. Taux de réparation  $\mu$  :**

La probabilité de réparation d'un composant est principalement fonction du temps écoulé depuis l'instant de défaillance. Il existe un certain délai  $t$  avant que le composant puisse être réparé. Ce délai  $t$  comprend le temps de détection et le temps d'attente de l'équipe de réparation

$$\mu = \frac{1}{MTTR}. \quad (19)$$

### II.3.2. Les temps de maintenance :[20]

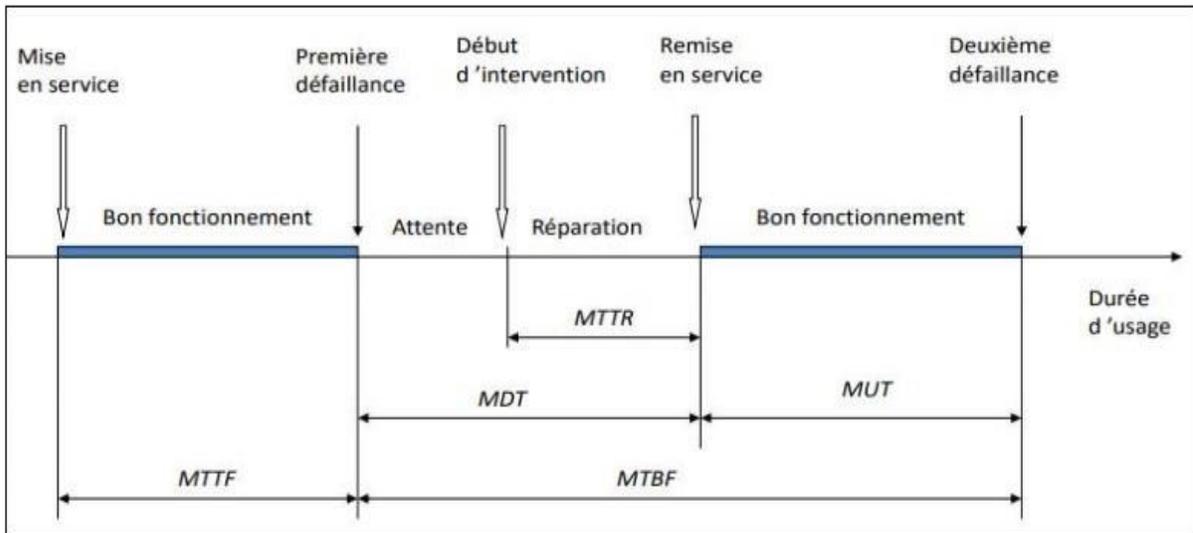
**MTTF :** Mean operating Time To first Failure (durée moyenne de fonctionnement avant la première défaillance).

**MDT :** Mean Down Time (temps moyen d'indisponibilité).

**MTTR :** Mean Time To Repaire (temps nécessaire à la réparation).

**MUT :** Mean Up Time (temps moyen de disponibilité).

**MTBF :** Mean operating Time Between Failure (temps de fonctionnement moyen entre défaillances).



*Figure5 : Les temps de maintenance*

### II.4. Disponibilité [22]

#### II.4.1 Définition :

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

#### II.4.2 Les types de Disponibilité :

##### a. Disponibilité intrinsèque :

Elle exprime le point de vue du concepteur. Ce dernier a conçu et fabriqué le produit en lui donnant un certain nombre de caractéristiques intrinsèques, c'est à dire des caractéristiques qui prennent en compte les conditions d'installation, d'utilisation, de maintenance et d'environnement, supposées idéal.

$$D_i = \frac{MUT}{MUT+MTRR} \quad (20)$$

Le **MUT** : moyenne de temps de bon fonctionnement.

$$MUT = \frac{\sum TBF}{Ni} \quad (21)$$

##### b. Disponibilité instantanée :

On se place dans l'hypothèse exponentielle, avec les taux de défaillance  $\lambda$  et de réparation  $\mu$  constants et indépendants du temps.

$$D(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-t(\mu + \lambda)} \quad (22)$$

### II.5. Méthode de Pareto « ABC » :

Cette méthode fondée sur le retour d'expérience, telle que pratiquée actuellement dans les établissements, par la mise en œuvre d'un système de signalement des événements indésirables, peut être optimisée par l'utilisation des méthodes « diagramme de Pareto (abc). Afin de tirer le meilleur parti des nombreuses informations recueillies par un dispositif de signalement des événements indésirables, et de pouvoir réagir de manière pertinente et efficace, en traitant les situations prioritaires et les causes réelles des dysfonctionnements.[24]

#### II.5.1 But de la méthode ABC

L'exploitation de cette loi permet de déterminer les éléments les plus pénalisants afin d'en diminuer leurs effets : [24]

- Diminuer les coûts de maintenance.
- Améliorer la fiabilité des systèmes. Justifier la mise en place d'une politique de maintenance.

#### II.5.2. Représentation Graphique [15]

- **Zone A** : (zone de priorité) dans cette zone 20% des pannes représentent 80% des temps d'arrêts.
- **Zone B** : dans cette zone 30% des pannes représentent 15% des temps d'arrêts, c'est la zone la moins importante.
- **Zone C** : dans cette zone 50% des pannes représentent 5% des heures d'arrêt, c'est la zone la moins importante.

Le matériel est alors classé selon un critère d'importance décroissante en déterminant

La zone A qui doit faire l'objet d'une maintenance préventive minutieuse pour éviter un coût de production exorbitant. Ainsi, l'analyse ABC influence énormément la politique de maintenance et la stratégie de sa mise en œuvre en focalisant les efforts sur des éléments spécifiques et en prévoyant les outils appropriés.

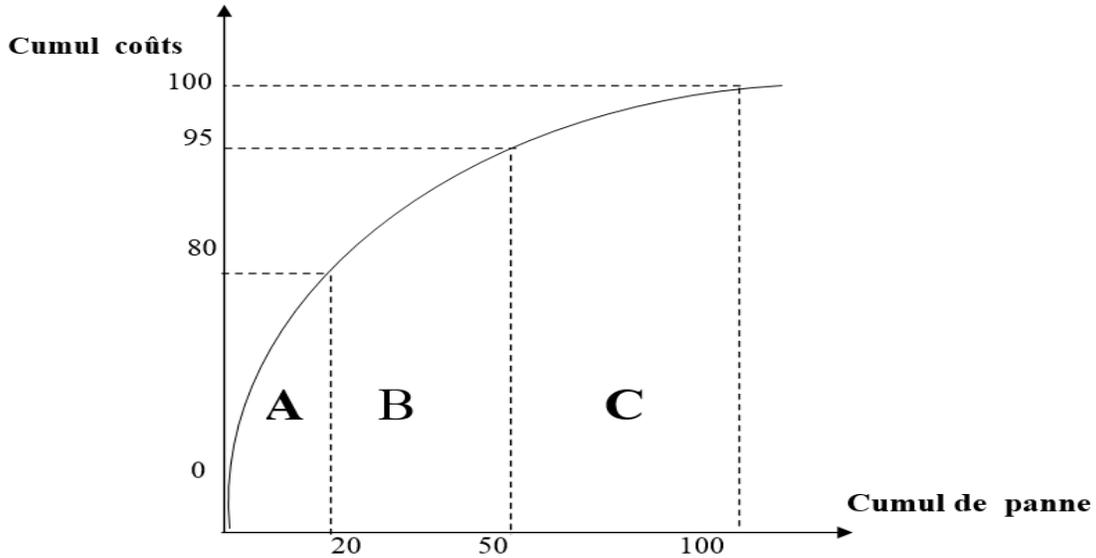


Figure6 : Diagramme Méthode de Pareto « ABC ».

### II.6. Conclusion :

Nous avons vu que la fiabilité est une caractéristique essentielle des systèmes techniques, qui se mesure en termes de probabilité de défaillance ou de temps moyen entre défaillances. Nous avons également vu que la fiabilité peut être affectée par de nombreux facteurs, tels que la conception, la fabrication, l'utilisation, la maintenance, l'environnement et les conditions de fonctionnement.

# Chapitre III

*La machine Thimonnier m3200*

### III. Introduction :

Les machines Thimonnier sont devenues une technologie largement utilisée dans notre société moderne et se sont imposées dans plusieurs domaines d'application.

La machine d'emballage Thimonnier est une sorte d'équipement pour emballer des produits. Le sac ou la boîte d'emballage protège les produits des dommages. L'aspect élégant et esthétique attire beaucoup les clients. La machine d'emballage a une large application dans l'emballage d'aliments, de médicaments, de produits chimiques quotidiens, de quincaillerie, de livres, d'épices, etc. Nous pouvons voir une variété d'objets emballés dans notre vie quotidienne. Dans une certaine mesure, la machine d'emballage est un élément indispensable dans la plupart des usines qui doivent vendre leurs produits avec un emballage. Il est donc très important de choisir une excellente machine de remplissage.

Nous découvrirons cette machine, ses caractéristiques, ses composants, comment travailler avec elle, ainsi que les moyens de la préserver de tout danger ou dysfonctionnement, et nous apprendrons comment l'entretenir avec tout type d'entretien.

### III.1. La présentation de la machine Thimonnier m3200 :

Figure7 : Thimonnierm3200



La Thimonnier M3200 est une machine automatique à double tête destinée au conditionnement de produits liquides en sachets de film souple, elle est utilisée dans l'industrie laitière. Elle bénéficie de l'expérience acquise par Thimonnier depuis plus de 50 ans dans le conditionnement automatique de lait en sachets souples.

Thimonnier fabrique également des machines de conditionnement et d'emballage pour les produits alimentaires.

#### **a. Descriptif technique :**

**De production 5 000 à 8 000 pph** [L]  
[SEP]

**Volume des sachets 70 à 1 500 ml**

Conditionneuse verticale automatique à double tête : la m3200 est parfaitement adaptée pour la mise en forme, le remplissage et la soudure de sachets coussins (pillowpouch) à partir de film pe en bobine.

Le remplissage des sachets se fait par injection continue à partir d'une cuve tampon à niveau constant équipée d'une vanne proportionnelle et d'un détecteur de niveau.

De technologie mécanique, le pilotage des opérations se fait par servomoteurs pour une flexibilité d'utilisation et précision de dosage lors de cadences élevées.

Sa structure est réalisée en profilés d'acier recouvert de tôles d'acier inoxydable pour une garantie de rigidité et longévité.

Un Nettoyage en place ou Clean-in-Place (CIP) a été intégré à la M3200 lors de sa conception. Toutes les parties en contact avec le produit sont réalisées en acier inoxydable.

### **b. Equipements modèle standard :**

- Tubes UV germicides avant formation du sachet pour désinfection
- Lavage en circuit fermé / CIP
- Les éléments de commande et de contrôle (automate programmable) sont regroupés dans une armoire unique étanche avec écran tactile de contrôle.
- Affichage des alarmes sur écran de contrôle : fin de bobine, niveau bas dans cuve tampon, ouverture des portes d'accès ...

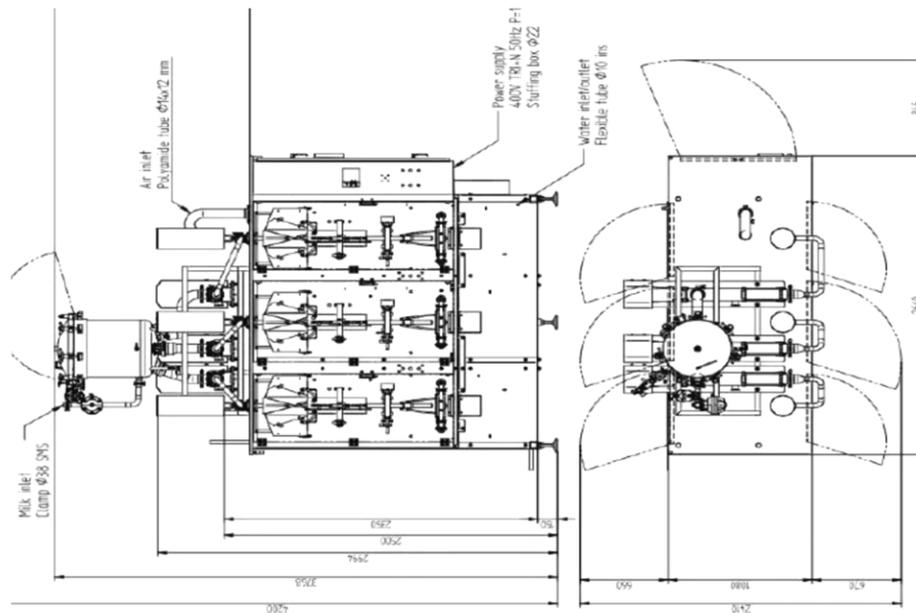


Figure8 : schéma des équipements Thimonnier M3200

### III.2. Caractéristiques Techniques de la Thimonnier M3200 :

#### 2.1.1. Dimensions des Bobines :

- **Largeur maximale de la bobine** : Jusqu'à 400 mm
- **Diamètre maximal de la bobine** : Jusqu'à 600 mm
- **Mandrin** : Diamètre de 76 mm (standard).

#### 2.1.2. Capacité de Production :

- **Cadence** : Jusqu'à 120 cycles par minute, selon le produit et le format.
- **Volume de remplissage** : Ajustable de 50 ml à 1000 ml.

#### 2.1.3. Dimensions de la Machine:

- **Longueur**: Environ 3000 mm
- **Largeur** : Environ 1200 mm
- **Hauteur**: Environ 1800 mm
- **Poids**: Environ 1500 kg

#### 2.1.4. Alimentation Électrique:

- **Tension**: 380-415V, 50/60 Hz, triphasé.

- **Puissance installer:** Environ 10 kW.

### 2.1.5. Consommation d'Air Comprimé:

- **Pression:** 6 bar.
- **Débit:** 1000 litres/minute.

### 2.1.6. Matériaux Utilisés:

- **Contact produit :** Acier inoxydable AISI 316L.
- **Structure:** Acier inoxydable AISI 304.

### 2.1.7. Système de Contrôle:

- **Contrôle PLC :** Programmable Logic Controller pour la gestion des opérations.
- **Interface :** Écran tactile HMI (Human Machine Interface) pour les réglages et la supervision.

### 2.1.8. Fonctionnalités de Soudage :

- **Type de soudage :** Soudure thermique ou par ultrason, selon le modèle.
- **Température de soudage :** Réglable jusqu'à 250°C.

### 2.1.9. Options de Remplissage:

- **Pompes de dosage :** Volumétrique ou pondéral pour haute précision.
- **Type de produits :** Liquides, semi-liquides, visqueux.

### 2.1.10. Hygiène et Sécurité:

- **Nettoyage:** Systèmes CIP (Cleaning in Place) intégrés.
- **Sécurité :** Barrières de sécurité et capteurs pour protection des opérateurs.

## 2.2. Options et Accessoires

### 2.2.1. Formats de Contenants :

- Adaptabilité pour différents types et tailles de contenants (pots, bouteilles, sachets).

### 2.2.2. Modules Additionnels:

- **Étiqueteuse :** Pour application d'étiquettes sur les emballages.
- **Imprimante :** Pour marquage de date et lot.
- **Module de couvercle :** Pour ajout automatique de couvercles.

### 2.2.3. Systèmes de Contrôle Qualité:

- **Détection de fuites :** Système pour vérifier l'intégrité des soudures.
- **Contrôle de poids :** Balance intégrée pour vérifier le poids des produits remplis.

### Chapitre III : la machine Thimonnier m3200



Figure9 : Thimonnierm3200 dans l'entreprise.

Durant la période de formation que j'ai passée au sein de l'usine laitière Salsabil, j'ai pu découvrir la machine M3200, son fonctionnement, ses caractéristiques, mais aussi comment l'entretenir.

### III.3. Présentation de l'unité:

- **Le nom de l'établissement :** laiterie SALSABIL
- **Le nom et prénom du PDG :** Mr. Massadi Daho ben Amer
- **Historique d'exploitation :** 2006
- **Date de début d'activité :** 2007
- **Lieu :** la zone d'activités diverses - Tighannif – mascara
- **Capital d'entreprise :** 1 000 000,00 DA
- **Nombre de travailleurs :** 11 (04 femmes, 07 hommes)
- **Nombre de produits :** 02
- **Numéro d'enregistrement commercial :** 03B0662803
- **Numéro de téléphone :** 045983801



*Figure 10 : usine Sarl Salsabil*

### **III.4. Déroulement d'une journée dans l'unité de production utilisant la machine M3200 :**

#### **1. Début de la Journée**

- **Réunion Matinale** : Débriefing sur les objectifs de production et les tâches à accomplir.
- **Préparation de la Machine** : Vérification des consommables et de l'état de la machine pour la production.

#### **2. Production Matinale**

- **Production Continue** : La machine Thimonnier M3200 est en fonctionnement pour emballer les produits laitiers.
- **Surveillance Qualité** : Contrôles réguliers pour garantir la qualité des produits.

### 3. Pause Déjeuner

- **Entretien et Nettoyage** : Nettoyage léger de la machine et des surfaces de travail pour maintenir les normes d'hygiène.

### 4. Maintenance et Nettoyage

- **Maintenance Préventive** : Inspection et lubrification des pièces de la machine pour assurer son bon fonctionnement.
- **Nettoyage Approfondi** : Utilisation du système CIP pour nettoyer en profondeur les parties en contact avec les produits laitiers.

### 5. Production de l'Après-midi

- **Reprise de la Production** : La machine reprend son cycle de production avec une surveillance continue.
- **Contrôles de Qualité Continus** : Vérifications régulières de la qualité des emballages et des produits.

### 6. Fin de la Journée

- **Réunion de Clôture** : Discussion sur les performances de la journée et les problèmes éventuels.
- **Documentation** : Rapports sur la production et les interventions de maintenance pour assurer le suivi.

### Recommandations Générales

- **Formation du Personnel** : Assurer que le personnel est formé aux procédures de production et de sécurité.
- **Hygiène et Nettoyage** : Maintenir des normes élevées d'hygiène et de propreté pour garantir la sécurité des produits.
- **Optimisation des Processus** : Analyser régulièrement les performances pour identifier les domaines d'amélioration et optimiser l'efficacité de la production

### III.5. Les pannes de la machine M3200 durant l'année 2023 :

La date de Panne	L'heure de Panne	La durée de Panne
02 février	10 :30	48h
05 avril	08 :00	10h
07 juillet	13 :00	23h
03 août	14 :00	5h
14 septembre	11 :45	6h
05 octobre	15 :00	72h
09 novembre	13 :00	12h
11 décembre	10 :30	13h

### III.6. Maintenance de la Machine Thimonnier M3200 :

#### 1. Maintenance Préventive

La maintenance préventive est essentielle pour assurer le bon fonctionnement de la machine et minimiser les temps d'arrêt. Les tâches incluent :

**1/ Inspection régulière :** Vérifier visuellement les composants de la machine pour détecter tout signe d'usure ou de dommage.

**2/ Nettoyage :** Effectuer un nettoyage régulier pour éviter l'accumulation de résidus de produits laitiers qui peuvent affecter les performances de la machine et on fait cette opération par les étapes suivantes :

#### Pré lavage

- Évacuer le lait résiduel de l'installation.
- Utiliser de l'eau tiède pour réchauffer le circuit.
- Cette phase est réalisée en circuit ouvert.

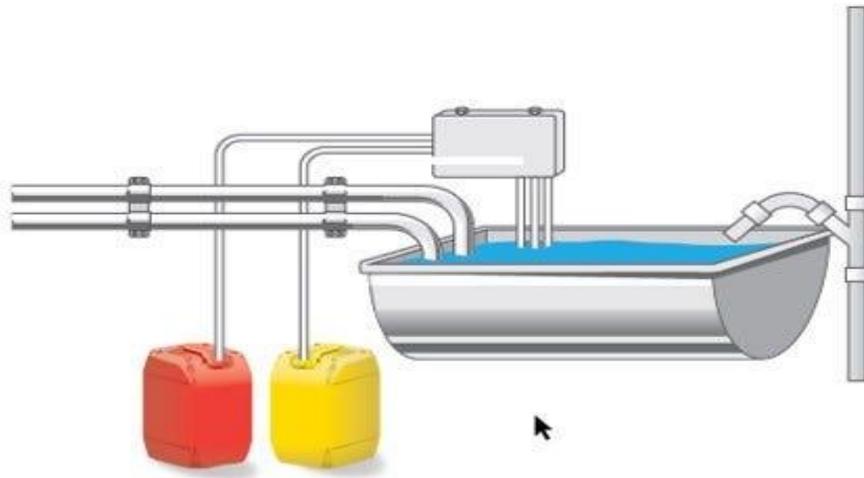
#### Lavage

- Objectif : nettoyer et/ou désinfecter.
- Purge en fin de lavage.
- Sélection de produits chimiques de nettoyage pour assurer un bon résultat tout en préservant l'intégrité des parties fragiles de votre machine à traire.
- Choix des produits de nettoyage en respectant ces 4 paramètres

#### Rinçage

## Chapitre III : la machine Thimonnier m3200

- Rincer avec une eau potable pour enlever le reste de la solution de nettoyage.



*Figure11 : Apré Nettoyage de la machine*

- **3/ Lubrification** : Lubrifier les pièces mobiles selon les recommandations du fabricant pour réduire l'usure et assurer un fonctionnement fluide.
- **4/ Calibration** : Vérifier et ajuster les réglages de la machine pour maintenir la précision du remplissage et du scellage.



*Figure 12 : Lubrification des pièces*

### 2. Maintenance Corrective

La maintenance corrective intervient lorsqu'un problème est détecté. Les étapes comprennent:

- **Diagnostic des pannes** : Utiliser les diagnostics intégrés de la machine pour identifier la cause des dysfonctionnements.
- **Réparation ou remplacement des pièces** : Réparer ou remplacer les pièces défectueuses. Il est important d'utiliser des pièces d'origine pour garantir la compatibilité et la performance.
- **Test de fonctionnement** : Après réparation, tester la machine pour s'assurer que le problème est résolu et que la machine fonctionne correctement.



*Figure13 : Maintenance de la machine et changement des pièces*

### 3. Maintenance Conditionnelle

Cette approche repose sur la surveillance continue des paramètres de fonctionnement de la machine :

- **Capteurs et monitoring** : Utiliser des capteurs pour surveiller en temps réel les vibrations, la température, et d'autres indicateurs de performance.
- **Analyse des données** : Analyser les données recueillies pour anticiper les problèmes potentiels avant qu'ils ne causent des pannes.

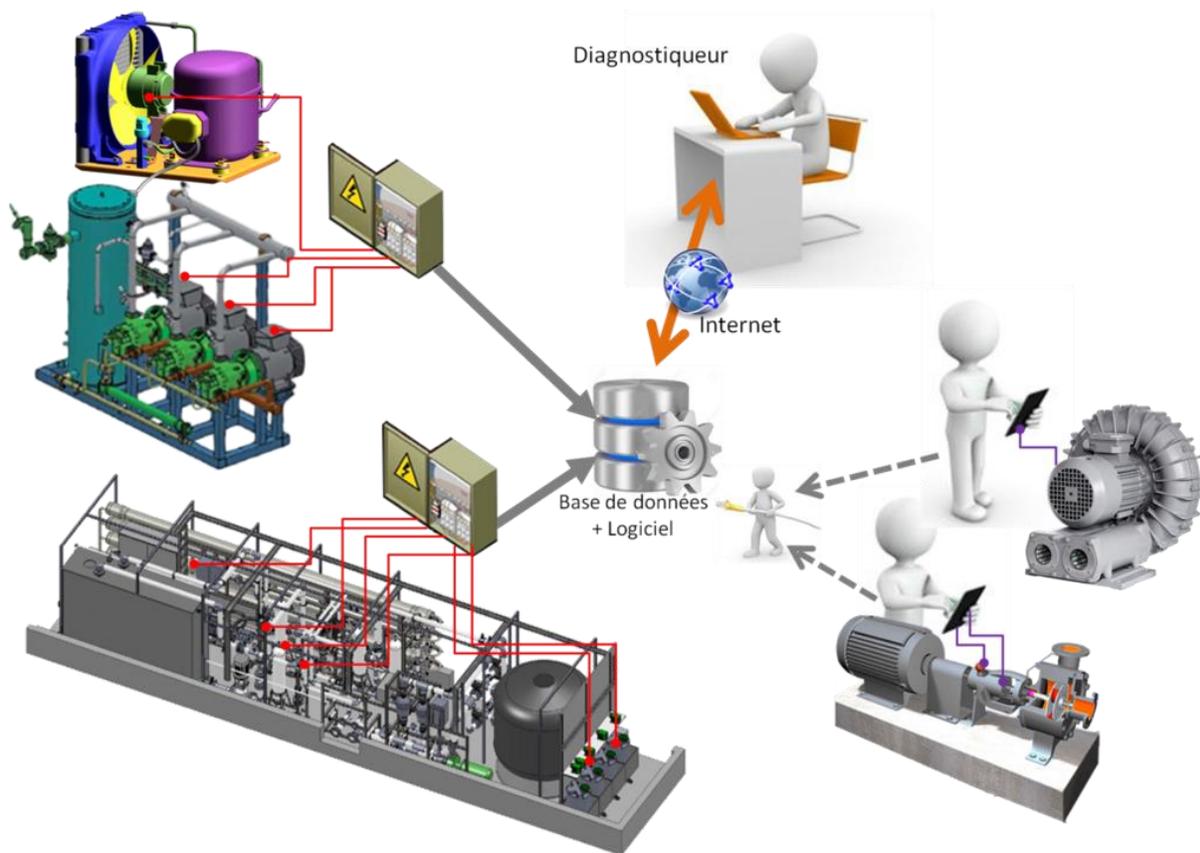


Figure14 : Analyse des données de la machines

### 4. Plan de Maintenance

Un plan de maintenance bien structuré devrait inclure :

- **Calendrier de maintenance** : Établir un calendrier détaillant la fréquence des inspections, nettoyages, et remplacements de pièces.
- **Formation du personnel** : Former les opérateurs et le personnel de maintenance sur les procédures de maintenance et les meilleures pratiques.

## Chapitre III : la machine Thimonnier m3200

- **Documentation** : Tenir des registres détaillés de toutes les opérations de maintenance effectuées pour suivre l'historique et planifier les interventions futures.

### Outils et Équipements Nécessaires

- **Kits de nettoyage** : Brosses, chiffons, et solutions de nettoyage adaptées aux matériaux de la machine.
- **Lubrifiants** : Huiles et graisses recommandées par le fabricant.
- **Outils de diagnostic** : Multimètres, thermomètres, et autres outils pour vérifier les paramètres de fonctionnement.
- **Pièces de rechange** : Stock de pièces couramment utilisées, telles que joints, courroies, et filtres.



Figure15: Outils de diagnostic



Figure 16 : pièces de rechange

### Bonnes Pratiques

- **Suivi des recommandations du fabricant** : Respecter les instructions et les recommandations spécifiques fournies dans le manuel de la machine.
- **Propreté** : Maintenir une zone de travail propre pour éviter toute contamination des produits laitiers.
- **Sécurité** : Toujours suivre les protocoles de sécurité pour protéger les opérateurs et le personnel de maintenance.

En suivant ces recommandations, vous pouvez prolonger la durée de vie de la machine Thimonnier M3200 et assurer une production continue et de haute qualité. À l'heure actuelle, les machines d'emballage sont devenues un élément important dans le domaine industriel, même si elles sont bien préparées et très fiables.

### **III.7. Conclusion :**

À l'heure actuelle, les machines d'emballage sont devenues un élément important dans le domaine industriel, même si elles sont bien préparées et très fiables.

Il faut veiller à assurer tous les types d'entretien que nous lui avons mentionnés pour le préserver.

# Chapitre IV

*Analyse de la machine Thimonnier  
m3200*

### IV. Introduction :

L'étude de fiabilité d'une turbine à gaz est une analyse approfondie visant à évaluer la probabilité de pannes et la performance de la machine sur une période donnée. Dans le cas spécifique de Thimonnier M3200, développée par General Electric (GE), une étude de fiabilité vise à comprendre les tendances historiques des pannes, à identifier les causes possibles de défaillance et à proposer des mesures d'amélioration pour garantir un fonctionnement plus fiable et efficace de la Thimonnier.

L'objectif principal d'une étude de fiabilité de Thimonnier M3200 est de minimiser les temps d'arrêt non planifiés, d'optimiser la disponibilité de la turbine et de réduire les coûts de maintenance associés.

Pendant cette étude de fiabilité de la turbine Thimonnier M3200, l'outil statistique Minitab sera utilisé pour analyser les données de temps de défaillance et effectuer les différentes analyses nécessaires.

### IV.1. Etude de la fiabilité de Thimonnier M3200 :

Le tableau suivant représente l'historique des pannes de Thimonnier M3200 sur une période de 05 ans :

*Tableau 2. Historique des pannes*

N°	Date de Démarrage	Date D'arrêt	TTR	TBF	TA	CAUSE
1	22 novembre 2015	02 Février 2016	08	1680	48	Dysfonctionnement du compteur de sacs sur l'écran
2	04 Février 2016	07 septembre 2016	05	5112	24	Nettoyage et reconditionnement de tubes germicides UV
3	08 septembre 2016	12 Mars 2017	14	5136	72	Remplacer les rouleaux en téflon sur les mâchoires de soudage supérieure et inférieure
4	15 Mars 2017	21 Octobre 2017	3	5184	10	Entretien des housses de protection
5	21 Octobre 2017	02 Mai 2018	10	3864	34	Reprogrammation et vérification de L'écran de contrôle
6	04 Mai 2018	07 Avril 2019	3	7920	24	Entretien de system de film final
7	07 Avril 2019	10 Décembre 2020	17	14472	65	La vérification des commandes CIP est incluse dans l'automate

### IV.2. Calcul temps de bon fonctionnement

Après l'exploitation du dossier historique des pannes de Thimonnier M3200, on peut calculer la moyenne des temps de bon fonctionnement (MTBF) de manière suivante :

$$MTBF = \frac{\sum \text{le temp de bon fonctionnement}}{\text{number d'intervallesde bon fonctionnement}}$$

AP :

$$MTBF = \frac{1680 + 3864 + 5112 + 5136 + 5184 + 7984 + 7920 + 14472}{7}$$

La moyenne des temps de bon fonctionnement :

$$MTBF = 7336 \text{ heure/panne}$$

### IV.3. Classement de TBF calcul F (ti) :

*Tableau 3. Classement de TBF calcul F (ti)*

N°	TBF(h)	n	$\Sigma$	F(ti)	F(ti)%
1	1680	1	1	0.0945945946	9.45945946
2	3864	1	2	0.2297297297	22.97297297
3	5112	1	3	0.3648648649	36.48648649
4	5136	1	4	0.5	50
5	5184	1	5	0.6351351351	63.51351351
6	7920	1	6	0.7702702703	77.02702703
7	14472	1	7	0.9054054054	90.54054054

Le tableau suivant comporte les TBF classés par ordre croissant, et les F(i) calculés par la méthode des rangs médians (dans notre cas  $N = 10 < 20$ ) pour tracer la courbe de Wei Bull :

### IV.4. Estimation des paramètres de la loi Wei Bull ( $\eta, \beta, \gamma$ ) :

Pour faciliter le calcul des paramètres de la distribution de Wei bull, nous avons utilisé le logiciel Mini tab.

#### IV. 4.1. Présentation générale de Mini tab :

Mini tab est un logiciel propriétaire commercial de statistiques. Il est développé par *Mini tab, Inc.* pour le système d'exploitation Windows. Mini tab nous permet d'accomplir plusieurs tâches :

- Analyser des données à l'aide de graphiques et présenter des résultats
- Réaliser des analyses statistiques

- Faire une évaluation de la qualité
- Concevoir un plan d'expériences
- Utiliser des raccourcis en vue d'automatiser les analyses futures
- Explorer des données avec graphique
- Calculer la fiabilité par différentes méthodes et la représenter graphiquement

### IV.4.2. L'environnement de Mini tab

#### a. Feuille de travail :

Mini tab s'ouvre avec deux fenêtres principales :

1. La fenêtre Session qui affiche les résultats de votre analyse au format texte. Dans cette fenêtre.
2. La fenêtre Données contient une feuille de travail semblable à une feuille de calcul. Vous pouvez ouvrir plusieurs feuilles de travail, chacune dans une fenêtre donnée différente.

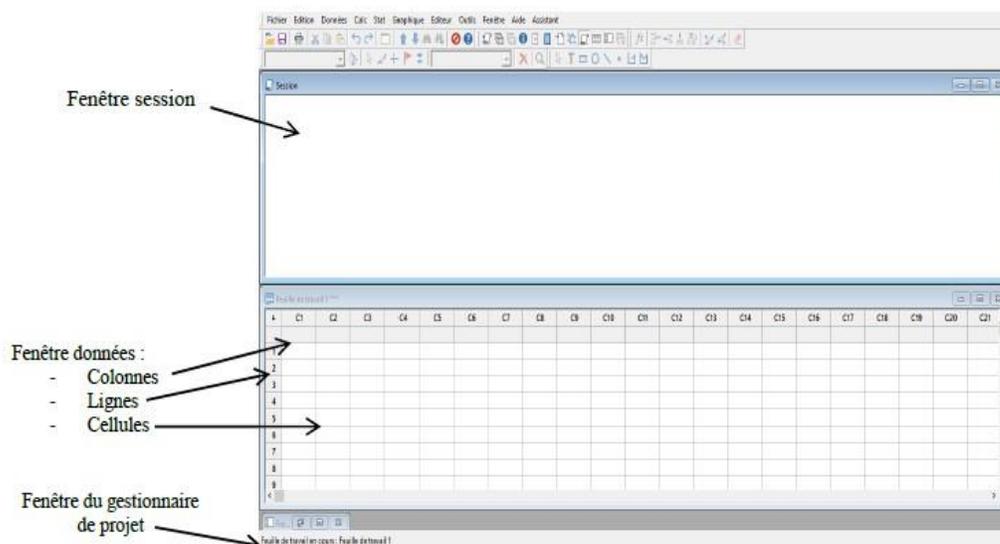


Figure17 : Ouverture d'une feuille de travail

### IV.4.3. Examen de la feuille de travail

Les données sont présentées dans des colonnes, également appelées variables. Le numéro et le nom de la colonne sont affichés en haut de chaque colonne. Chaque ligne de la feuille de travail représente un enregistrement. « Minitab » accepte trois types de données : les données numériques, les données texte et les données date/heure. Les trois types sont représentés dans cette feuille de travail.

	C1-T	C2-D	C3-D	C4	C5-T	C6	C7
	Center	Order	Arrival	Days	Status	Distance	
1	Eastern	3/4/2013 8:34	3/8/2013 15:21	4.28264	On time	255	
2	Eastern	3/4/2013 8:35	3/7/2013 17:05	3.35417	On time	196	
3	Eastern	3/4/2013 8:38		*	* Back order	299	
4	Eastern	3/4/2013 8:40	3/8/2013 15:52	4.30000	On time	205	
5	Eastern	3/4/2013 8:42	3/10/2013 14:48	6.25417	Late	250	
6	Eastern	3/4/2013 8:43	3/9/2013 15:45	5.29306	On time	93	
7	Eastern	3/4/2013 8:50	3/8/2013 10:02	4.05000	On time	189	
8	Eastern	3/4/2013 8:55	3/9/2013 16:30	5.31597	On time	335	

*Figure 18: Examen d'une feuille de travail*

### IV.4.4. Représentation graphique des données

Avant d'effectuer une analyse statistique, vous pouvez utiliser des graphiques pour explorer les données et évaluer les relations entre les variables. De plus, vous pouvez utiliser des graphiques pour résumer les données et faciliter l'interprétation des résultats statistiques. Vous pouvez accéder aux graphiques de Mini tab à partir des menus Graphique et Statistique. Des graphiques intégrés, qui vous aident à interpréter les résultats et à évaluer la validité des hypothèses statistiques, sont également disponibles avec de nombreuses commandes statistiques.

Les graphiques de Mini tab comprennent les fonctionnalités suivantes :

- Galeries picturales pour vous aider à choisir le type de graphique.
- Flexibilité dans la personnalisation des graphiques.
- Éléments graphiques que vous pouvez modifier.
- Option de mise à jour automatique des graphiques.

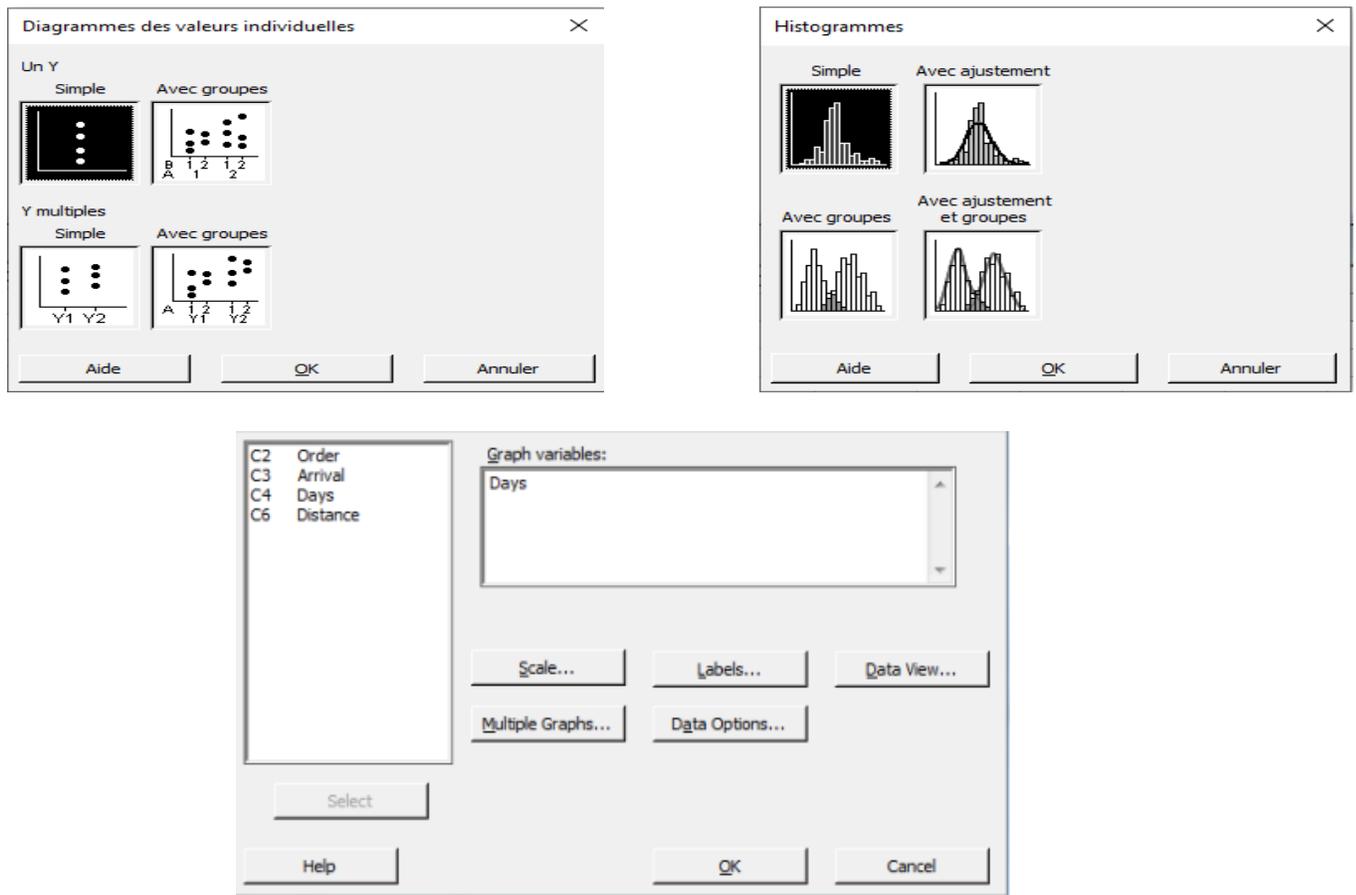


Figure19: Représentation graphique des données

### IV.4.5. Etude de la loi de Wei bull :

Le déroulement de l'étude passe par les étapes suivantes :

#### Etape 1 :

- Remplissage des données sur la feuille de travail.
- Sélectionnez Stat > Fiabilité/Survie > Analyse de répartition (troncature à droite) > Analyse de répartition paramétriques.

## Chapitre IV : Analyse de la machine Thimonnier m3200

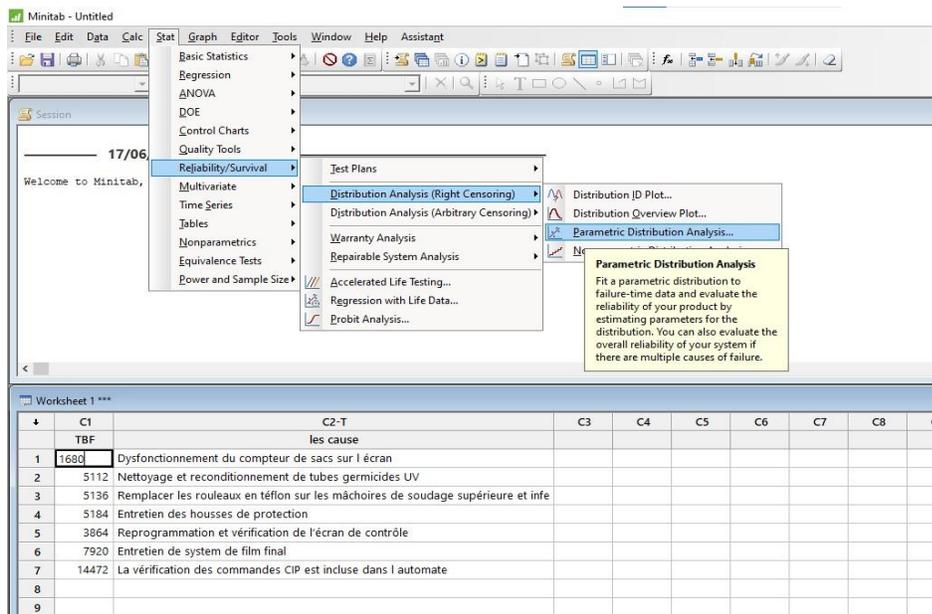


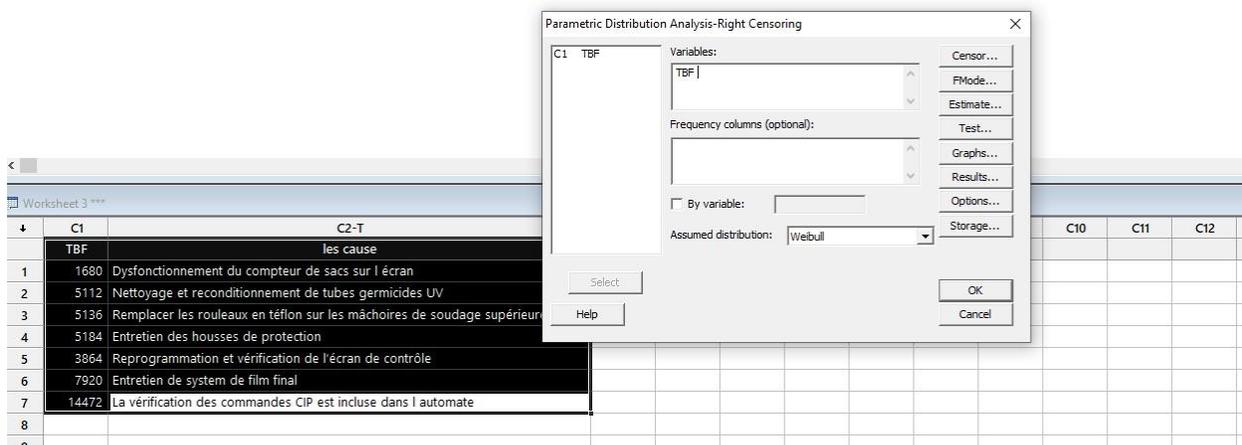
Figure 20 : Analyse de répartition

### Etape 2 :

- Cliquer sur C1 puis cliquer sur sélectionner, TBF sera affiché dans la case « variables ».
- Choisir Weibull de la liste de loi de distribution.
- Cliquer sur « ok ».

17/06/2024 21:06:32

Distribution Analysis: TBF



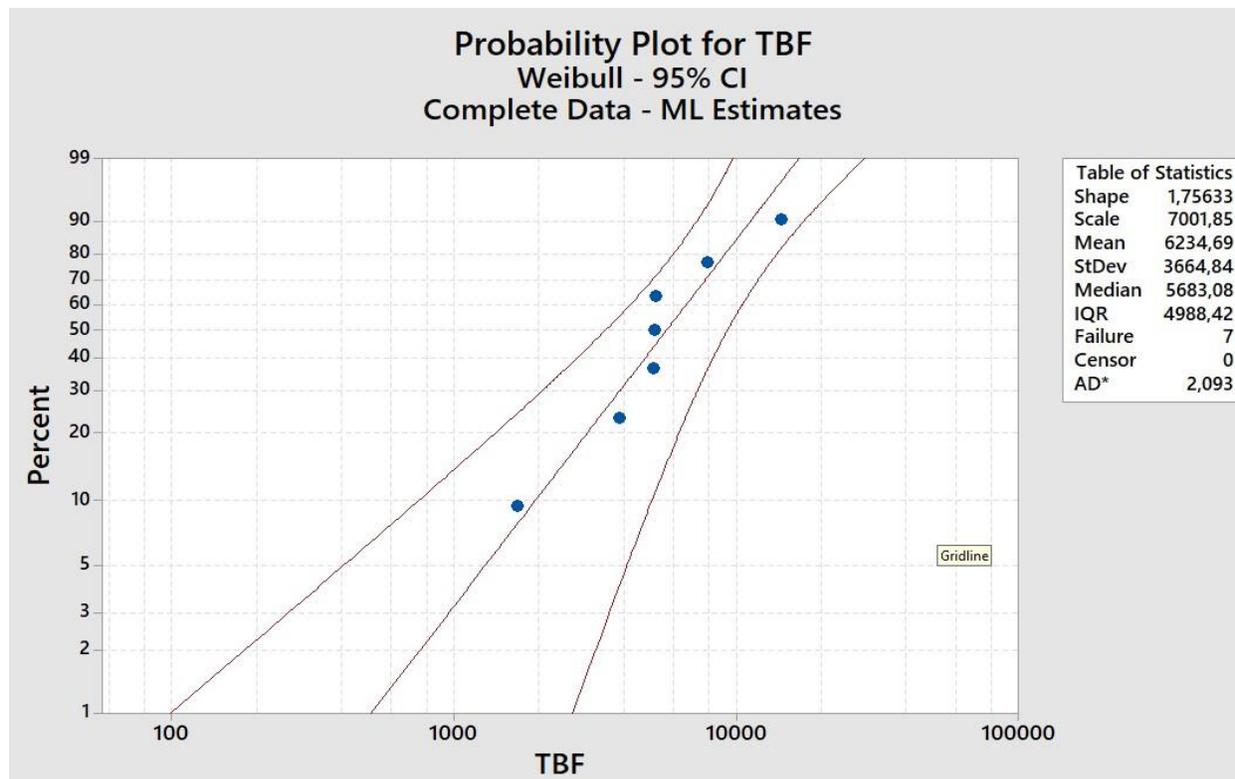
*Figure21 : Estimation des données*

On déduit les paramètres :  $\beta, \eta$  et  $\gamma$  par notre logiciel Mini tab.

$$\beta = 1.7$$

$$\eta = 7001.85$$

$$\gamma = 0$$



*Figure22 : Papier de Wei Bull en logiciel Mini tab*

### IV.4.6. Test de Kolmogorov-Smirnov:

Avant la validation de toutes les lois de fiabilité, il est nécessaire de tester l'hypothèse pour savoir si nous devons accepter ou rejeter le modèle proposé par le test de K-S avec un seuil de confiance de  $\alpha = 20\%$ . Ce test consiste à calculer l'écart entre la fonction théorique  $F(i)$  et la fonction réelle  $F(t)$  et prendre le maximum en valeur absolue  $D_{N,max}$ .

Cette valeur est comparée avec  $D_{N, \alpha}$  Qui est donnée par la table de Kolmogorov Smirnov (voir annexe1). Si  $D_{N,max} > D_{N, \alpha}$  On refuse l'hypothèse.

## Chapitre IV : Analyse de la machine Thimonnier m3200

$D_{ni} = |F(t_i) \text{ réelle} - F(t_i) \text{ théorique}|$

*Tableau 4. Les différentes valeurs utilisées pour la distribution de Wei bull.*

N	TBF	F(ti) théorique	R (ti)	$\lambda$ (ti)	F (ti) réelle	f (ti)	D ni
1	1680	0.094	0.9210	$0.85 \times 10^{-4}$	0.079	$6.37 \times 10^{-4}$	0.015
2	3864	0.229	0.7023	$1.46 \times 10^{-4}$	0.2977	$10.26 \times 10^{-4}$	0.0687
3	5112	0.364	0.5617	$1.88 \times 10^{-4}$	0.4383	$10.57 \times 10^{-4}$	0.0743
4	5136	0.5	0.5591	$1.89 \times 10^{-4}$	0.4409	$10.57 \times 10^{-4}$	0.0591
5	5184	0.635	0.5538	$1.9 \times 10^{-4}$	0.4462	$10.57 \times 10^{-4}$	<b>0.1888</b>
6	7920	0.770	0.2891	$2.79 \times 10^{-4}$	0.7109	$8.07 \times 10^{-4}$	0.0591
7	14472	0.905	0.0283	$4.8 \times 10^{-4}$	0.9717	$1.36 \times 10^{-4}$	0.0667

D'après le tableau:

La fréquence maximale  $D_{N,max} = \mathbf{0,1888}$  et selon la table K-S (KOLMOGOROV-SMIRNOV) avec :

$N = 7$  et  $\alpha = 0.2$

D'après le tableau de K-S:

$D_{N,\alpha} = D_{7*0,2} = 0,381$

$0,1888 < 0,381$

Donc l'hypothèse du modèle de Wei Bull est acceptable.

### IV.5. Calcul la fiabilité de Thimonnier M3200 :

**Le MTBF :**

D'après le tableau de distribution de Wei bull on trouve :  $A = 0,8906$  ;  $B = 0,525$

$MTBF = A\eta + \gamma$

$MTBF = 0.8906 * 7001.5 + 0$

$MTBF = 6235.84$  heures/panne.

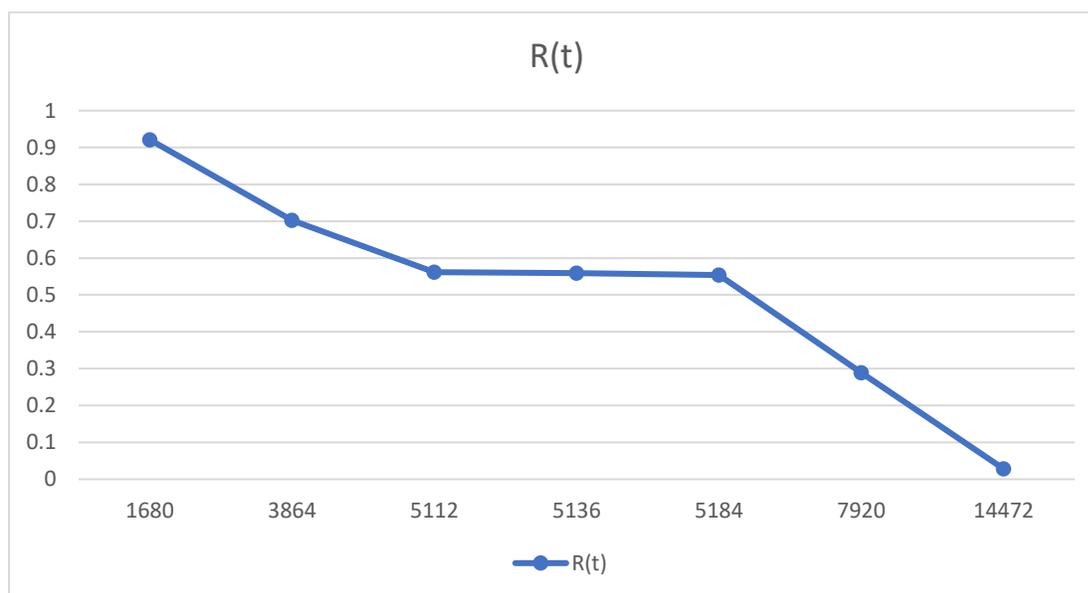
### IV.6. Calcul de R(t), F(t), $\lambda(t)$

#### IV.6.1 La fiabilité R(t) :

$$R(t) = e^{-\left[\frac{6234.69}{7001.85}\right]^{1.75}} = 0.4421 = 44.21\%$$

*Tableau 5. Calcul de la fiabilité*

TBF	1680	3864	5112	5136	5184	7920	14472
R(t)	0.9210	0.7023	0.5617	0.5591	0.5538	0.2891	0.0283



*Figure 23 : La Courbe De la Fonction Fiabilité*

### **Commentaire :**

D'après l'allure de cette courbe on a remarqué que la dégradation de la fiabilité (probabilité de bon fonctionnement) au cours du cumul de temps de bon fonctionnement signifie que la machine subit plusieurs arrêts qui provoquent l'arrêt de l'unité.

Cette dégradation est due essentiellement aux vibrations de l'équipement ou la dégradation du matériel soit à une mauvaise maintenance

### **IV.6.2 La fonction de répartition :**

$$F(t) = 1 - e^{-\left[\frac{t-y}{\eta}\right]^\beta} = 1 - R(t) = 0.5578 = 55.78\%$$

Tableau 6. Fonction de répartition  $F(t)$

<b>TBF</b>	1680	3864	5112	5136	5184	7920	14472
<b>F(t)</b>	0.079	0.2977	0.4383	0.4409	0.4462	0.7109	0.9717

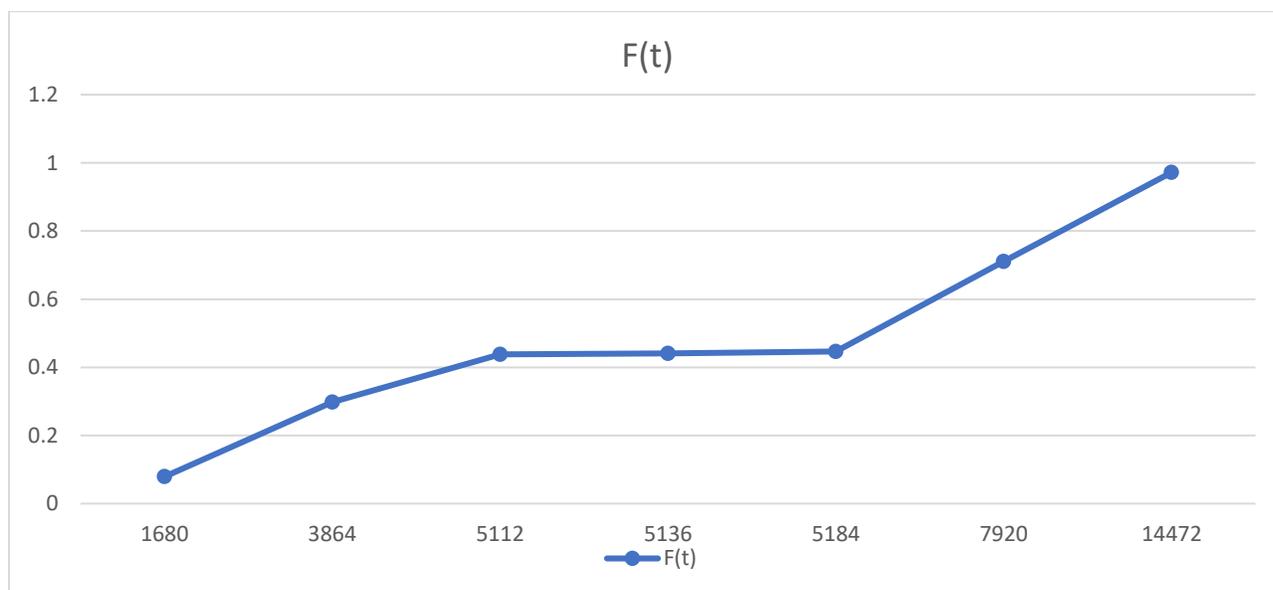


Figure24 : La Courbe De Fonction Répartition

### Commentaire :

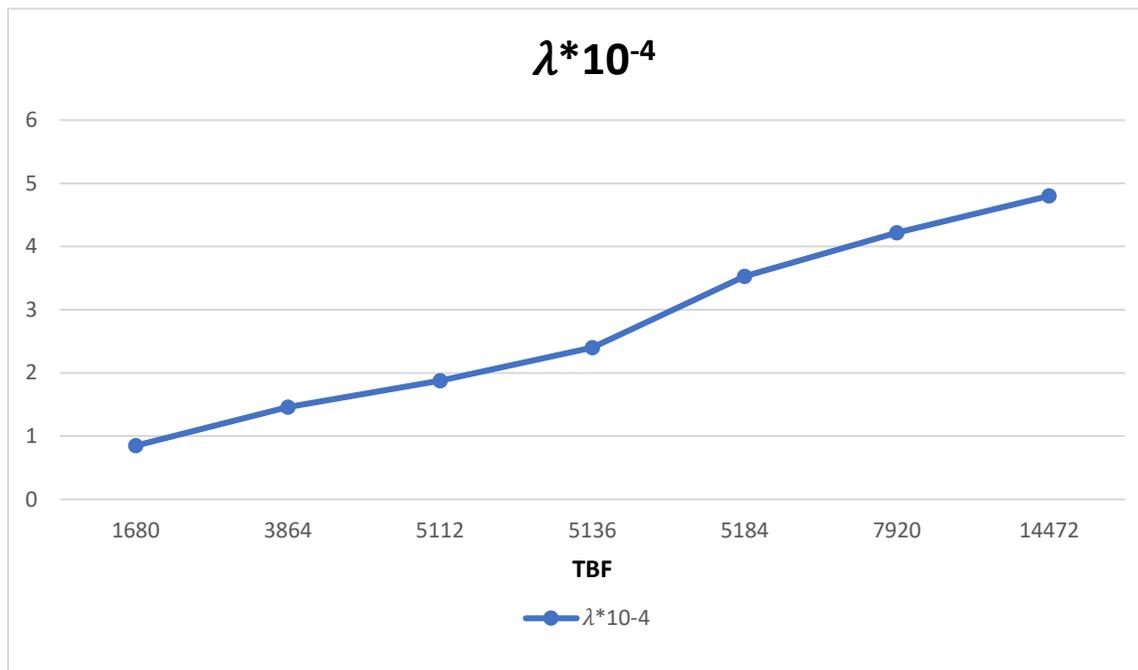
D'après la courbe, on voit que la répartition des défaillances s'élève avec le temps, c'est-à-dire qu'il est très probable d'avoir une ou des avaries si le temps d'utilisation augmente, Donc il faut prévoir une méthode propre pour éviter les défaillances estimées et par conséquent l'amélioration de la fiabilité.

### IV.6.3 Taux de défaillance :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\eta} \left[ \frac{t - \gamma}{\eta} \right]^{\beta-1} = 0.000229 = 2.29 \times 10^{-4}$$

Tableau 7 : Calcul le taux de défaillance

TBF	1680	3864	5112	5136	5184	7920	14472
$\lambda \times 10^{-4}$	0.85	1.46	1.88	2.4	3.53	4.22	4.8



*Figure 25. Le courbe taux de défaillance*

### Commentaire :

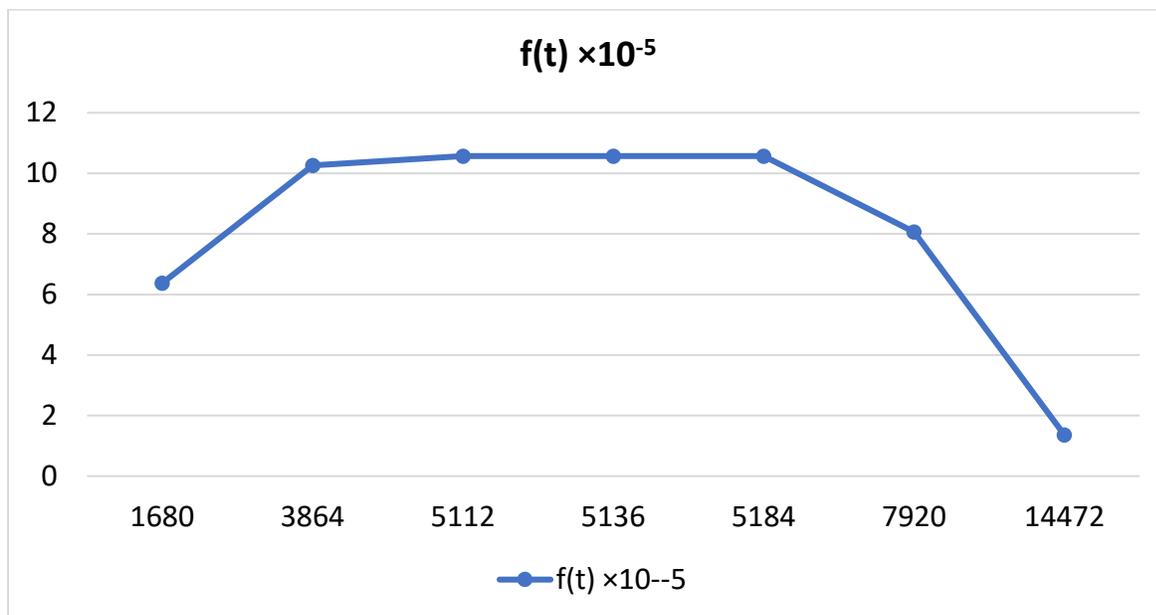
A partir de la courbe, on remarque que les résultats obtenus dans notre application, le taux de défaillance décroît avec le temps. Selon la théorie, notre équipement se situe en période de vieillissement.

### IV.6.4 Densité de probabilité de défaillance :

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

*Tableau 8. Calcul la fonction de la densité de probabilité*

<b>TBF</b>	1680	3864	5112	5136	5184	7920	14472
<b>f(t)</b> ×10 <sup>-5</sup>	6.37	10.26	10.57	10.57	10.57	8.07	1.36



*Figure 26. La Courbe de la densité de probabilité de défaillance*

### Commentaire :

L'intérêt de la fonction  $f(t)$  étant de voir l'allure de la distribution des défaillances enregistrés. C'est la forte probabilité d'avoir une avarie autour de la MTBF.

### IV.7. Etude de maintenabilité :

La maintenabilité peut se caractériser par sa MTTR (Moyenne des Temps Technique de Réparation).

La fonction de maintenabilité  $M(t)$  :

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

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

## Chapitre IV : Analyse de la machine Thimonnier m3200

**TTR** : Moyenne des temps de réparation

**N** : le nombre de réparation

$$MTTR = \frac{60}{7} = 8.57h$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{8.57} = 0.1167 \text{ intervention/heure}$$

N	T(h)	M(t)	%
1	15	0.8	80
2	30	0.9698	96.98
3	45	0.9947	99.47
4	60	0.999	99.9
5	75	0.9998	99.98
6	90	0.9999	99.99
7	115	0.9999	99.99

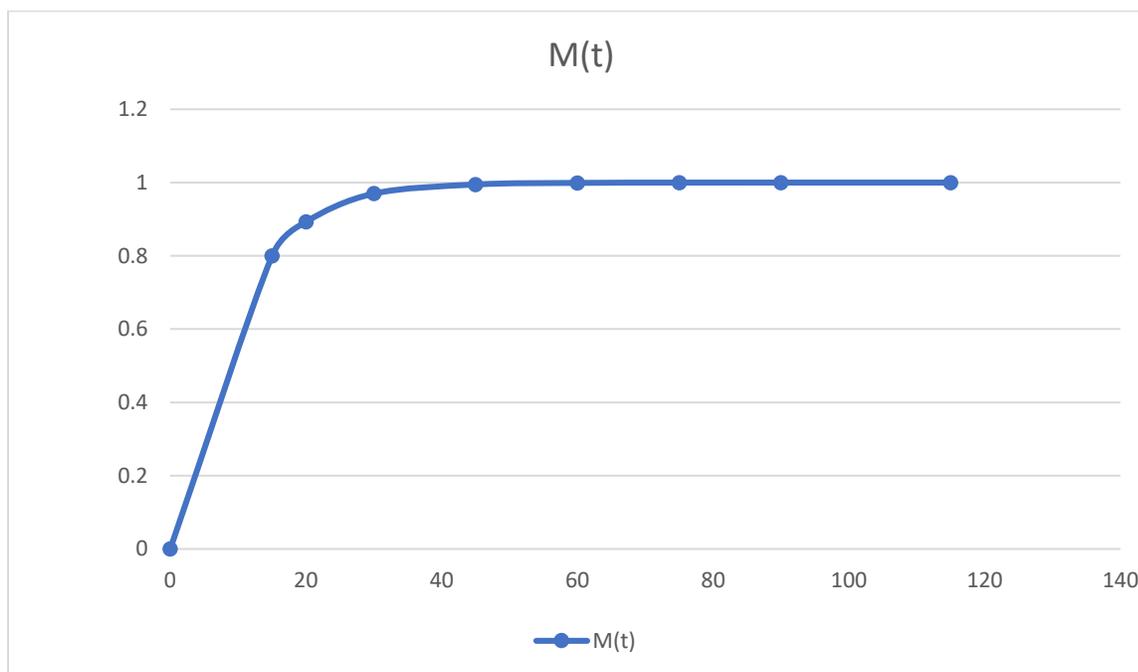


Figure 27. La courbe de la maintenabilité

**Commentaires :**

La Maintenabilité est croissant en fonction de temps la maintenable 99,99%

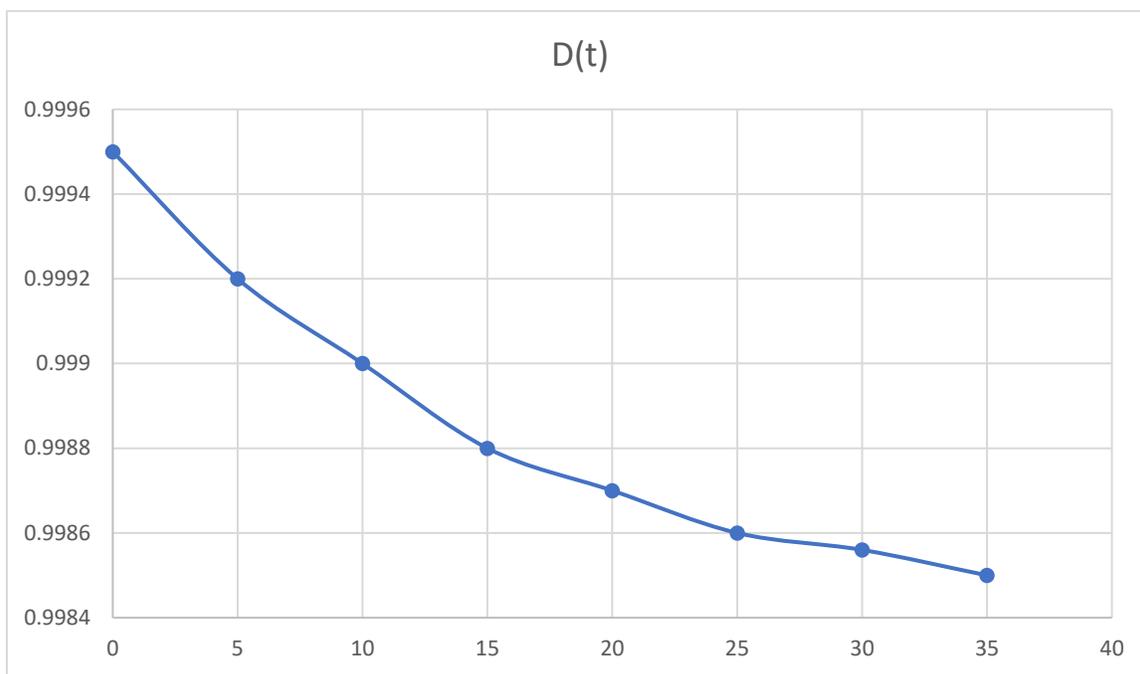
**IV.8. Etude de disponibilité instantanée**

Pour un système avec l’hypothèse d’un taux de défaillance  $\lambda$  constant et d’un taux de réparation  $\mu$  constant, on montre que la disponibilité instantanée a pure expression :

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

$$\lambda = \frac{1}{\text{MTBF}} = \frac{1}{6235.85} = 0.00016$$

<b>T(h)</b>	5	10	15	20	25	30	35
<b>D(t)</b>	0.9992	0.9990	0.9988	0.9987	0.9986	0.99856	0.9985
<b>%</b>	99.93	99.9	99.88	99.88	99.87	99.86	99.86



*Figure29.Disponibilité instantané*

### **Commentaire :**

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

### **IV.9. Conclusion :**

Au terme de notre étude, nous pouvons constater et conclure qu'il est très important de connaître la méthode de calcul des équipements de machine avec une étude des problèmes qu'on peut rencontrer.

Ainsi de connaître les comportements avec une étude détaillée de la FMD qui permet de choisir une meilleure politique de maintenance, ce qui donne la possibilité de réduire les temps d'arrêts, l'indisponibilité

# *Conclusion générale*

### Conclusion générale

Dans ce mémoire, nous avons abordé l'étude de la stratégie de maintenance du dispositif Thimonnier M3200 , où nous avons également examiné les différents aspects utilisés pour développer et améliorer la maintenance préventive, et utiliser la fiabilité comme guide pour créer un plan de maintenance efficace, ce qui nous oblige à fournir des solutions et des recommandations pour améliorer les performances de fonctionnement et de maintenance de l'appareil, et pour cela : Nous avons dû collecter des données confirmées à partir de la date fournie par les indicateurs d'évolution de l'équipement à la date de la demande.

Pour étudier et analyser la fiabilité de nos appareils, nous avons utilisé l'ordinateur et ses outils pour nous aider. Parmi ces outils, Minitab est un outil flexible et facile à utiliser qui nous permet d'explorer différentes méthodes utilisateur pour des analyses de précision. Merci beaucoup. Nous avons tous la possibilité d'utiliser les techniques utilisées dans ces analyses.

Nous avons utilisé la loi de Weibull pour évaluer la fiabilité de nos équipements à différents moments de l'étude. La loi de Weibull présente l'avantage d'être très flexible et de pouvoir s'ajuster à différents résultats expérimentaux. Elle nous a également permis de déterminer la période d'intervention nécessaire pour maintenir la fiabilité des équipements.

Nous concluons qu'en utilisant l'historique complet et en effectuant une analyse probabiliste détaillée des indicateurs de fiabilité, nous avons pu améliorer la fiabilité de nos équipements et prédire son fonctionnement. De plus, ces procédures nous ont permis d'identifier les approches et méthodes classiques utilisées dans. Analyser la fiabilité du système, et cela nous a également aidé à choisir la maintenance la plus appropriée pour nos équipements. En combinant ces méthodes, nous prenons des décisions judicieuses et éclairées pour améliorer les performances et la durabilité de nos équipements

### Bibliographie

- [1] **D. Sherwin**, « A review of overall models for maintenance management. J of Quall in Maint Eng 6(3): 138-164 », J. Qual . Maintc. Eng., vol. 6, p. 138-164, sept. 2000
- [2] **Dana Netherton**, Criterion for Defining RCM (Part One), Maintenance Technology, 1998
- [3] **D. N. P. Murthy, A. Atrens, et J. A. Ecclestone**, « Strategic maintenance management », J. Qual. Maint. Eng., vol. 8, no 4, p. 287-305, déc. 2002,
- [4] **A. BELHOMME** « Cours stratégie de maintenance » année 10/11
- [5] IUT de TROYES Licences mécatronique INTRODUCTION A LA MAINTENANCE INDUSTRIELLE
- [6] ORGANISATION DE MAINTENANCE BTS MC FAIGNER H.Promotion 2020/2022
- [7] **S. BENZAADA D. FELIACHI** COLLECTION LE COURS DE MECANIQUE La Maintenance Industrielle.
- [8] **Monchy F.** « Maintenance : Méthodes et organisation » éditions DUNOD, Paris, 2000
- [9] **Vanura D, Marmet E, Donjon A.** Modèle de gestion des risques en Etablissements de Santé-Organisation, méthodes et outils » DHOS / Ministère de l'Emploi et de la Solidarité, 11/2002.
- [10] **BELLAOUAR A, BELEULMI S,** UNIVERSITE Constantine1 « Fiabilité La maintenabilité disponibilité »année 2013-2014
- [11] **Par Julie BERTHON**, « nouvelle approche de la fiabilité Opérationnelle », thèse de doctorat de l'université de bordeaux 1, 2008.
- [12] **P. Chapouille** « livre de Fiabilité et maintenabilité. Les techniques de l'ingénieur ; traité de l'entreprise industrielle » Edition 1999.
- [13] **Monchy F.** « Maintenance : Méthodes et organisation » éditions DUNOD, Paris, 2000
- [14] **Benkhelifa A** "Fiabilité Des Equipements De D.T.M., Analyse Fonctionnelle Et Implications Organisationnelles De La Fonction Maintenance De Transport" Mémoire De

## Bibliographie

Master, Université De Ouargla 2011.

[15] **HARRID Nedjm MOSTEFAOUI Abdel Aziz** MEMOIRE DE FIN D'ETUDES Etude De La Maintenance D'une Turbine A Gaz MS 50012015/2016.

[16] BENAICHA Halima, « Analyse des stratégies de maintenance des Systèmes de Production industrielle », Thèse Doctorat, Université des Sciences et de la Technologie Mohammed Boudiaf, Oran, 2015.

[17] M.T. Hides, C.J. Bamber, J.M. Sharp, Factors affecting implementation of total Productive maintenance. 1 Salon International de la maintenance Alger, pp. 1-19, 1991.er

[18] ISET Nabeul, Introduction à la maintenance, 2014.

19A. DESPUJOLS, Optimisation de la maintenance par la fiabilité (OMF), Techniques de l'ingénieur, 2004.

20Dr. Belhadj Djilali Abdelkadir MCB à l'Université de chlef Année 2020, Maintenance et sûreté de fonctionnement

21Ouarab Numidia ,Dadi Sara, Analyse de la Fiabilité et Optimisation de la Maintenance Préventive du Systeme de Contrôle d'Accès, Université de Béjaïa, 2016

22 R. LABRECQUE, N. DESROCHERS, Organisation de la maintenance de la machinerie de production dans l'industrie manufacturière : Étude préliminaire, Secteurs de formation Électrotechnique Fabrication mécanique Mécanique D'entretien, Livre Québec, 1999.

23R. LAGGOUNE. Fiabilité des systèmes. Béjaïa, Université Abderahmane Mira Béjaïa, Master maintenance industrielle, Cours, 2018/2019

[24] Dagi Samir "Etude Des Paramètres De La Maintenance De La Turbine A Vapeur" Mémoire De Ingénieur, Université De Skikda 2010.