



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 وهران 2 محمد بن أحمد  
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed  
-----  
معهد الصيانة والأمن الصناعي  
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de maintenance en électromécanique

## MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

**Filière :** Génie industriel  
**Spécialité :** Maintenance-Fiabilité-Qualité

### Thème

**Optimisation de la planification préventive :  
Une approche axée sur la Maintenance Basée  
sur la Fiabilité**

Présenté et soutenu publiquement par :

**Nom :** CHERIFI      **Prénom :** Bouabdellah

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
TARFAYA Anis	MCB	Université d'Oran 2 MBA	Président
BOUCHAALA Mohammed Abdelghani	MCB	Université d'Oran 2 MBA	Encadreur
TITAH Mawloud	MCB	Université d'Oran 2 MBA	Examineur

Année 2023/2024

**Dédicaces**

Je dédie ce modeste travail

À

Mon très cher père et ma très chère mère pour leur soutien, leurs sacrifices et les efforts  
qu'ils ont déployés pour mon éducation ainsi que ma formation.

À

Mes chers frères pour leur affection, compréhension et patience.

À

Tous mes amis d'enfance et du long parcours scolaire et universitaire.

**CHERIFI BOUABDELLAH**

### Remerciements

Je remercie tout d'abord Dieu le Tout-Puissant qui m'a accordé la volonté et le courage pour l'accomplissement de ce travail. Al Hamdoulillah, qui m'a offert la force de réaliser beaucoup de choses au-delà de ma capacité normale.

J'exprime mes remerciements avec un grand plaisir et un grand respect à mon encadreur, Monsieur BOUCHAALA Mohammed Abdelghani, qui m'a proposé le sujet de ce mémoire. Pour sa patience, sa disponibilité tout au long de la réalisation de ce travail et surtout ses judicieux conseils, je ne le remercierai jamais assez. Grâce à lui, j'ai pu réaliser ce travail.

Je remercie également tous mes professeurs pendant mon cursus universitaire au sein de l'institut de maintenance et de sécurité industrielle pour leur soutien et leur accueil chaleureux et sympathique.

Je tiens également à remercier les membres du jury pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Enfin, j'adresse mes plus sincères remerciements à mes parents, mes proches et mes amis pour leur contribution et leur soutien.

Merci à vous tous

### Résumé

La maintenance préventive revêt une importance cruciale dans tous les secteurs industriels, en raison des bénéfices substantiels qu'elle apporte en termes de disponibilité et de fiabilité des équipements. Ce travail présente une méthodologie structurée pour optimiser la planification préventive en utilisant une approche de maintenance basée sur la fiabilité, spécifiquement appliquée à uneessoreuse à sucre comme cas d'étude. Après une analyse approfondie du système, incluant la décomposition fonctionnelle à l'aide d'outils comme SADT (Structured Analysis and Design Technique), la bête à corne et FAST (Function Analysis System Technique), une étude de fiabilité est réalisée en utilisant le modèle Weibull pour évaluer la performance globale de l'équipement. Ensuite, une analyse AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) est menée pour identifier les éléments critiques du système. Enfin, une stratégie optimale de maintenance préventive est développée, optimisant à la fois les tâches de maintenance à entreprendre et leur fréquence. Ainsi, cette approche démontre l'efficacité des outils de la maintenance basée sur la fiabilité dans la gestion des opérations de maintenance, particulièrement sur le plan préventif.

**Mots clés :** Maintenance préventive, Fiabilité, Essoreuse à sucre, SADT, Bête à corne, FAST, Modèle Weibull, Analyse AMDEC, Optimisation de maintenance.

### Abstract

Preventive maintenance is crucial in all industrial sectors due to its significant benefits in terms of equipment availability and reliability. This study presents a structured methodology to optimize preventive planning using a reliability-centered maintenance approach, specifically applied to a sugar centrifuge as a case study. Following a thorough analysis of the system, including functional decomposition using tools such as SADT (Structured Analysis and Design Technique), FAST (Function Analysis System Technique), and others, a reliability study is conducted using the Weibull model to assess overall equipment performance. Subsequently, an FMECA (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis) is performed to identify critical system elements. Finally, an optimal preventive maintenance strategy is developed, optimizing both the maintenance tasks to be undertaken and their frequency. Thus, this approach demonstrates the effectiveness of reliability-centered maintenance tools in managing maintenance operations, particularly in the preventive realm.

**Keywords :** Preventive maintenance, Reliability, Sugar centrifuge, SADT, FAST, Weibull model, FMECA, Maintenance optimization.

### ملخص

الصيانة الوقائية تحظى بأهمية كبيرة في جميع القطاعات الصناعية، نظرًا للفوائد الكبيرة التي توفرها من حيث توافر المعدات وموثوقيتها. يعرض هذا العمل منهجية منظمة لتحسين التخطيط الوقائي باستخدام نهج الصيانة القائم على الموثوقية، والمطبق تحديدًا على جهاز عصر السكر كحالة دراسية. بعد تحليل معمق للنظام، بما في ذلك التحليل الوظيفي باستخدام أدوات مثل SADT (تقنية التحليل والتصميم المنظم)، و "bête à corne" و FAST (تقنية تحليل النظام الوظيفي)، يتم إجراء دراسة موثوقية باستخدام نموذج Weibull لتقييم الأداء العام للمعدات. بعد ذلك، يتم إجراء تحليل AMDEC (تحليل أوضاع الفشل وتأثيراتها وأهميتها) لتحديد العناصر الحرجة في النظام. وأخيرًا، يتم تطوير استراتيجية صيانة وقائية مثلى، تعمل على تحسين مهام الصيانة التي يجب تنفيذها وتكرارها. وبالتالي، تظهر هذه المقاربة فعالية أدوات الصيانة القائمة على الموثوقية في إدارة عمليات الصيانة، خاصة على المستوى الوقائي.

**الكلمات المفتاحية:** الصيانة الوقائية، الموثوقية، جهاز عصر السكر، نموذج Weibull، تحليل AMDEC، تحسين الصيانة.

## Table des matières

Dédicaces .....	I
Remerciements .....	II
Résumé .....	III
Liste des figures .....	IX
Liste des tableaux .....	XI
Liste des symboles .....	XII
Introduction Générale.....	1
Chapitre I : Généralités sur la maintenance.....	3
Introduction .....	4
I.1. L'historique de la maintenance : .....	4
I.2. Évolution de la maintenance .....	4
I.3. Définition de la maintenance :.....	5
I.4. Les différents types de maintenance : .....	6
I.4.1. La maintenance corrective .....	6
I.4.2. La maintenance préventive .....	6
I.5. Choix de méthode de maintenance :.....	8
I.6. Buts de la maintenance préventive :.....	9
I.6.1. But de la maintenance préventive systématique .....	9
I.6.2. But de la maintenance préventive prévisionnelle .....	9
I.6.3. But de la maintenance préventive conditionnelle .....	9
I.7. Les fonctions de la maintenance : .....	10
I.7.1. La fonction méthode .....	10
I.7.2. La fonction ordonnancement .....	11
I.7.3. La fonction réalisation .....	12
I.8. Les opérations de la maintenance :.....	12

## Table des matières

---

I.8.1.	Le dépannage .....	12
I.8.2.	La réparation .....	12
I.8.3.	La surveillance .....	12
I.8.4.	Les révisions .....	12
<b>I.9.</b>	<b>Les niveaux de la maintenance : .....</b>	<b>12</b>
<b>I.10.</b>	<b>Aspect économique de la maintenance : .....</b>	<b>13</b>
<b>I.11.</b>	<b>FMDS : Pilier de la maintenance performante : .....</b>	<b>14</b>
I.11.1.	Fiabilité .....	14
I.11.2.	Maintenabilité .....	15
I.11.3.	Disponibilité.....	15
I.11.4.	Sécurité .....	16
<b>Conclusion.....</b>	<b>.....</b>	<b>17</b>
<b>Chapitre II : La Maintenance Basée sur la Fiabilité MBF.....</b>	<b>.....</b>	<b>18</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>.....</b>	<b>19</b>
<b>II.1. La fiabilité :.....</b>	<b>.....</b>	<b>19</b>
II.1.1.	L'historique .....	19
II.1.2.	Définition de la fiabilité .....	19
II.1.3.	Expressions mathématiques de la fiabilité .....	19
II.1.4.	Fiabilité d'un système .....	23
II.1.4.1.	Fiabilité d'un système constitué de plusieurs composants.....	23
II.1.5.	Principales lois de probabilité utilisées en fiabilité .....	24
II.1.5.1.	Loi exponentielle (loi de vieillissement constant).....	24
II.1.5.2.	Loi de Weibull .....	27
II.1.5.3.	La loi normale.....	29
<b>II.2. Outils d'aide à la décision et diagnostic : .....</b>	<b>.....</b>	<b>31</b>
II.2.1.	Méthode ABC (Pareto) .....	31

## Table des matières

---

II.2.2.	AMDEC : Vers une maintenance fiabilisée.....	32
II.2.2.1.	Les types d'AMDEC .....	33
II.2.2.2.	Les étapes de la méthode AMDEC.....	33
II.2.2.3.	Les différentes actions de l'AMDEC .....	38
<b>II.3.</b>	<b>Présentation de la méthode MBF : .....</b>	<b>38</b>
II.3.1.	L'historique.....	38
II.3.2.	Définition .....	39
II.3.3.	Objectifs principaux.....	39
II.3.4.	Méthodologie de la MBF .....	40
II.3.4.1.	Présentation et décomposition du système ou équipement à étudier.....	40
II.3.4.2.	Collecte des données .....	41
II.3.4.3.	Étude de fiabilité.....	41
II.3.4.4.	Analyse des défaillances.....	42
II.3.4.5.	Optimisation de la maintenance .....	42
<b>Conclusion.....</b>	<b>.....</b>	<b>43</b>
<b>Chapitre III : Étude de cas : Essoreuse à sucre BMA (B1750R) .....</b>	<b>.....</b>	<b>44</b>
<b>Introduction .....</b>	<b>.....</b>	<b>45</b>
<b>III.1. Méthodologie : .....</b>	<b>.....</b>	<b>45</b>
<b>III.2. Présentation du système à étudier : .....</b>	<b>.....</b>	<b>46</b>
A.	Décomposition fonctionnelle de l'essoreuse à sucre .....	49
B.	Analyse fonctionnelle .....	51
a.	Le diagramme Bête à corne .....	51
b.	Le diagramme SADT.....	51
c.	Le diagramme pieuvre (externe) .....	52
d.	Le diagramme FAST (interne).....	53
<b>III.3. Collecte des données :.....</b>	<b>.....</b>	<b>54</b>



## Table des matières

---

<b>III.4. Étude de fiabilité :</b> .....	<b>56</b>
A. Test de Kolmogorov-Smirnov .....	56
B. Calculs de la fiabilité, fonction de défaillance, la densité probabilité et le taux de défaillance .....	59
C. La courbe de la fonction fiabilité.....	61
D. La courbe de la fonction de répartition F(t).....	62
E. La courbe de densité de probabilité f(t).....	62
F. La courbe de taux de défaillance $\lambda(t)$ .....	63
G. Interprétation des résultats.....	63
H. Diagramme de PARETO .....	64
<b>III.5. Analyse AMDEC :</b> .....	<b>67</b>
A. Interprétation .....	73
B. Recommandations .....	73
<b>III.6. Elaboration d'un plan de maintenance préventive :</b> .....	<b>73</b>
A. Optimisation de la fréquence des interventions de maintenance.....	73
B. Plan de maintenance préventif optimisé pour les éléments critiques .....	75
C. Interprétation et explication du plan.....	80
<b>Conclusion.....</b>	<b>81</b>
<b>Conclusion générale et perspective .....</b>	<b>82</b>
<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>84</b>
<b>Annexes .....</b>	<b>88</b>
<b>ANNEXE A : Le principe de fonctionnement de l'essoreuse à sucre.....</b>	<b>89</b>
<b>ANNEXE B : La distribution de weibull par logiciel « Minitab Statistical Software ».....</b>	<b>91</b>
<b>ANNEXE C : Les valeurs de A et B de la loi weibull.....</b>	<b>92</b>
<b>ANNEXE D : La table de Kolmogorov-Smirnov .....</b>	<b>93</b>

## Liste des figures

### ❖ Chapitre I :

<b>Figure I. 1 :</b> Evolution de la maintenance depuis 1940.....	5
<b>Figure I. 2 :</b> Les différents types de maintenance .....	7
<b>Figure I. 3 :</b> Démarche suivi pour le choix d'un type de maintenance .....	8
<b>Figure I. 4 :</b> Les trois fonctions opérationnelles de la maintenance .....	10
<b>Figure I. 5 :</b> FMDS : Pilier de la maintenance performante .....	16

### ❖ Chapitre II :

<b>Figure II. 1 :</b> Fonction de répartition .....	20
<b>Figure II. 2 :</b> Fonction défaillance et Fonction Fiabilité.....	21
<b>Figure II. 3 :</b> La courbe en baignoire .....	22
<b>Figure II. 4 :</b> Composants en série .....	23
<b>Figure II. 5 :</b> Composant en parallèle .....	24
<b>Figure II. 6 :</b> loi exponentielle .....	25
<b>Figure II. 7 :</b> loi Weibull « d'Allen Plait » (échelle fine) .....	29
<b>Figure II. 8 :</b> La courbe ABC.....	32
<b>Figure II. 9 :</b> Les étapes principales de la démarche MBF .....	40

### ❖ Chapitre III :

<b>Figure III. 1 :</b> La démarche de la méthode MBF pour élaborer un PMO.....	45
<b>Figure III. 2 :</b> Les séquences du déroulement du cycle .....	46
<b>Figure III. 3 :</b> Les éléments constitutifs de la turbine B1750R .....	47
<b>Figure III. 4 :</b> Les éléments constitutifs de la turbine B1750R .....	47
<b>Figure III. 5 :</b> Découpage fonctionnelle de l'essoreuse à sucre.....	50
<b>Figure III. 6 :</b> Bête à corne de l'essoreuse à sucre.....	51
<b>Figure III. 7 :</b> Diagramme SADT de l'essoreuse à sucre.....	51
<b>Figure III. 8 :</b> Diagramme pieuvre de l'essoreuse à sucre .....	52

## Liste des figures

---

<b>Figure III. 9 :</b> Diagramme pieuvre de l'essoreuse à sucre .....	53
<b>Figure III. 10 :</b> La fonction de fiabilité $R(t)$ .....	61
<b>Figure III. 11 :</b> La fonction de répartition $F(t)$ .....	62
<b>Figure III. 12 :</b> Densité de probabilité $f(t)$ .....	62
<b>Figure III. 13 :</b> Taux de défaillance $\lambda (t)$ .....	63
<b>Figure III. 14 :</b> Histogramme fiabilité et courbe ABC .....	66
<b>❖ Annexe :</b>	
<b>Figure (Annexe B). 1 :</b> La distribution de weibull par logiciel Minitab Statistical Software.	91

## Liste des tableaux

### ❖ Chapitre II :

<b>Tableau II. 1 :</b> Gravité G.....	35
<b>Tableau II. 2 :</b> Fréquence F.....	35
<b>Tableau II. 3 :</b> Détection D .....	36
<b>Tableau II. 4 :</b> Échelle de criticité C .....	36
<b>Tableau II. 5 :</b> Tableau AMDEC .....	37

### ❖ Chapitre III :

<b>Tableau III. 1 :</b> Liste des sous-ensembles de l'essoreuse à sucre B1750R .....	48
<b>Tableau III. 2 :</b> Les fonctions principales et contraintes .....	52
<b>Tableau III. 3 :</b> Les données de défaillance de l'essoreuse à sucre .....	54
<b>Tableau III. 4 :</b> Les paramètres de la loi weibul.....	56
<b>Tableau III. 5 :</b> Test de kolmogrov-smirnov .....	57
<b>Tableau III. 6 :</b> Calculs de La fiabilité et la fonction de répartition, du taux de défaillance et de la densité de probabilité.....	59
<b>Tableau III. 7 :</b> L'analyse ABC (Pareto) .....	65
<b>Tableau III. 8 :</b> Table AMDEC de l'essoreuse à sucre.....	68
<b>Tableau III. 9 :</b> Tableau de la méthode "ABACABAD" .....	76
<b>Tableau III. 10 :</b> Plan de maintenance préventif optimisé pour les éléments critiques .....	77

### ❖ Annexes :

<b>Tableau (Annexe C). 1 :</b> Tableau de Calcul de la MTBF selon la loi de Weibull .....	92
<b>Tableau (Annexe D). 1 :</b> La table de Kolmogorov-Smirnov .....	93

## Liste des symboles

<b>AMDEC</b>	Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité
<b>C</b>	Indice de la criticité
<b>D</b>	Indice de la détection
<b>E(t)</b>	Espérance mathématique
<b>F</b>	Indice de la fréquence
<b>f(t)</b>	Densité de probabilité de défaillance
<b>F(t)</b>	Fonction de défaillance (%)
<b>G</b>	Indice de la gravité
<b>m</b>	La moyenne
<b>MTBF</b>	Moyen de temps de bon fonctionnement
<b>MTTR</b>	Moyen de temps de réparation
<b>R(t)</b>	Fiabilité au temps (t) (%)
<b>t</b>	Temps (h)
<b>T</b>	Variable aléatoire caractérisant l'instant de défaillance du dispositif (heures)
<b>TBF</b>	Temps de bon fonctionnement
<b>TTR</b>	Temps de réparation
<b><math>\beta</math></b>	Paramètre de forme de « Weibull »
<b><math>\gamma</math></b>	Paramètre de position de « Weibull »
<b><math>\eta</math></b>	Paramètre d'échelle de « Weibull »
<b><math>\sigma</math></b>	Ecart-type
<b><math>\lambda(t)</math></b>	Taux de défaillance (%)

---

# **Introduction Générale**

---

## Introduction Générale

---

Dans un monde où l'évolution technologique rapide et la concurrence acharnée dictent les normes de l'efficacité opérationnelle, la gestion proactive des actifs devient un impératif stratégique pour les organisations. Au cœur de cette quête d'excellence réside la maintenance préventive, une discipline cruciale visant à anticiper les défaillances des équipements et à maximiser leur disponibilité. Cependant, face aux complexités croissantes des systèmes industriels, il devient impératif de repenser cette approche fondamentale.

C'est dans cette perspective que cette mémoire se propose d'explorer « L'Optimisation de la Planification Préventive : Une Approche Axée sur la Maintenance Basée sur la Fiabilité ». Cette approche novatrice vise à transcender les méthodologies traditionnelles en intégrant la fiabilité comme une pierre angulaire de la planification préventive. L'objectif est de non seulement réagir de manière proactive aux défaillances potentielles, mais surtout d'optimiser cette réaction en tenant compte de la fiabilité inhérente des équipements.

Le voyage intellectuel que nous entreprenons débutera par un examen approfondi des généralités sur la maintenance. Dans le chapitre II, à travers le prisme de la Maintenance Basée sur la Fiabilité (MBF), nous plongerons dans la fiabilité et ses lois pour comprendre les modèles mathématiques qui sous-tendent cette discipline. Ensuite, nous présenterons les outils d'aide à la décision et de diagnostic. Dans le chapitre III, une étude de cas détaillée illustrera comment ces concepts se traduisent concrètement dans l'optimisation de la maintenance préventive.

Cette mémoire s'inscrit dans une démarche pragmatique et proactive, cherchant à non seulement théoriser sur les meilleures pratiques, mais également à démontrer leur applicabilité dans des contextes industriels réels. En embrassant cette perspective intégrée de la maintenance préventive basée sur la fiabilité, nous aspirons à contribuer significativement à la littérature scientifique et à offrir des solutions tangibles aux défis opérationnels contemporains.

---

# **Chapitre I : Généralités sur la maintenance**

---



### Introduction

Le premier chapitre de cette étude plonge dans les bases essentielles de la maintenance. Nous retracerons rapidement l'évolution de la maintenance, définirons les types de maintenance, exposerons leurs objectifs et fonctions, en mettant un accent particulier sur le rôle de la planification préventive. Nous examinerons également la définition précise des différentes opérations, abordant en outre l'aspect économique de ces pratiques ainsi que la compréhension du pilier de la maintenance performante (FMDS). Ce chapitre sert de toile de fond pour aborder la gestion proactive des systèmes industriels.

#### I.1. L'historique de la maintenance : [1]

- a. L'origine du terme "maintenance" remonte à son utilisation dans le domaine militaire, où il désignait le "maintien des unités de combat, de l'effectif et du matériel à un niveau constant". Dans notre contexte, il s'applique aux unités de production, mettant l'accent sur des combats principalement orientés vers des objectifs économiques. L'introduction du terme "maintenance" dans le secteur industriel a débuté vers les années 1950 aux États-Unis et a graduellement remplacé le terme "entretien" en France. En Algérie, certaines entreprises ont adopté ce terme plus tôt que d'autres.
- b. Entretien ou maintenir ?
  - L'acte d'entretenir englobe le dépannage et la réparation d'un parc matériel pour garantir la continuité de la production, reflétant ainsi une approche réactive. Entretien revient à subir les incidents.
  - D'un autre côté, la maintenance implique des choix préventifs, correctifs ou de rénovation du matériel en fonction de sa criticité économique, dans le but d'optimiser le coût global de possession. Elle adopte une approche proactive, visant à maîtriser les aspects opérationnels.

#### I.2. Évolution de la maintenance : [2]

Dans le contexte de la concurrence économique à l'échelle mondiale, la gestion de la maintenance reste instable, surtout dans un environnement où l'automatisation et les processus de fabrication deviennent de plus en plus complexes.

Depuis les années 1940, l'évolution de la maintenance peut être retracée à travers trois générations, comme illustré dans la figure (I.1).

<b>1<sup>ère</sup> génération : 1940 – 1950</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Le remplacement du composant intervient dès lors qu'il endommagé ou détruit.</li></ul>
<b>2<sup>ème</sup> génération : 1950 – 1970</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Le processus présente une disponibilité accrue.</li><li>• La durée de vie des composants est prolongée.</li><li>• Des réflexions sont engagées en vue d'optimiser les couts.</li></ul>
<b>3<sup>ème</sup> génération : 1980 ...</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Amélioration de la disponibilité et de la fiabilité, avec une attention particulière à la sécurité.</li><li>• Amélioration de la qualité des produits.</li><li>• Réflexion approfondie sur les impacts environnementaux.</li><li>• Optimisation du rapport cout – efficacité.</li></ul>

**Figure I. 1:** Evolution de la maintenance depuis 1940 [5]

La première génération couvre la période jusqu'à la seconde guerre mondiale, caractérisée par un faible intérêt pour les temps d'arrêt. La prévention des défaillances des équipements n'était pas une priorité pour la plupart des gestionnaires, car la technologie des équipements était alors plus simple qu'aujourd'hui.

La deuxième génération, débutant dans les années 50, a connu des changements significatifs en raison de l'augmentation de la demande de marchandises. Pendant les années 60, l'approche consistait principalement à effectuer des révisions à intervalles fixes sur les composants, entraînant une hausse marquée des coûts de maintenance.

La troisième génération, émergente au milieu des années 70, a été marquée par un processus de changement plus dynamique et de remise en question dans l'industrie. Cette période a été caractérisée par de nouvelles attentes, des recherches innovantes et l'adoption de nouvelles techniques.

### **I.3. Définition de la maintenance : [3]**

En 1994, l'AFNOR a introduit la première définition normative de la maintenance à travers la norme NF X 60-010[3]. Cette définition conceptualise la maintenance comme

l'ensemble des démarches entreprises pour préserver ou restaurer un bien à un état spécifié, lui permettant d'assurer un service déterminé. Le document complémentaire X 60-000 souligne l'efficacité de la maintenance, en insistant sur la nécessité de mener les opérations de manière optimale sur le plan financier. En 2001, cette définition a été remplacée par une norme européenne (NF EN 13306 X 60-319), qui la décrit comme un ensemble d'actions techniques, administratives et de gestion déployée tout au long du cycle de vie d'un bien dans le but de le maintenir ou de le rétablir dans un état permettant d'accomplir sa fonction requise.

### **I.4. Les différents types de maintenance : [3]**

Deux catégories prédominantes de maintenance sont identifiées : la maintenance corrective et la maintenance préventive. La divergence fondamentale entre ces deux réside dans le timing de leur intervention par rapport à l'occurrence d'une panne. La maintenance corrective intervient postérieurement à la détection d'une panne, alors que la maintenance préventive est mise en œuvre en amont de celle-ci.

#### **I.4.1. La maintenance corrective**

Conformément à la norme AFNOR NF 13306 X 60-319, la maintenance corrective est définie comme une intervention effectuée après la détection d'une panne, visant à remettre le bien dans un état lui permettant d'accomplir une fonction requise.

- **Maintenance curative**

La maintenance curative vise la remise en état permanente de l'équipement, lui redonnant ses caractéristiques antérieures à l'apparition du problème.

- **Maintenance palliative**

La maintenance palliative assure une remise en état provisoire du matériel ayant subi un dysfonctionnement, souvent associée à des systèmes ne présentant pas d'impératif de sécurité.

#### **I.4.2. La maintenance préventive**

Conformément à la norme AFNOR NF EN 13306 X 60-319, la maintenance préventive se caractérise comme une intervention programmée à des intervalles prédéterminés ou en fonction de critères spécifiques. Son objectif est de minimiser la probabilité de défaillance ou de détérioration des performances d'un bien. Cette pratique se divise généralement en trois formes principales :

- **Maintenance préventive systématique**

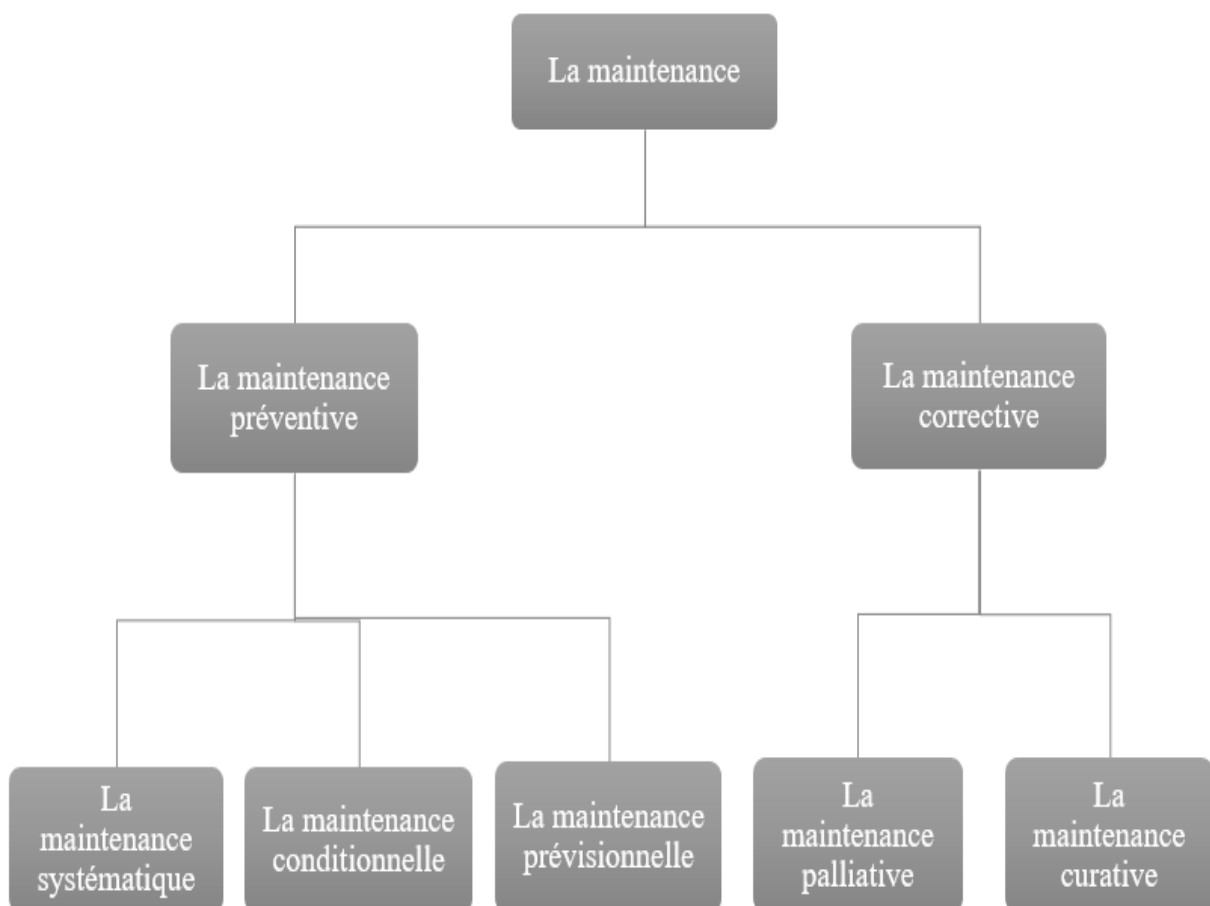
Cette maintenance est réalisée selon un calendrier établi en fonction du temps ou du nombre d'unités d'usage.

- **Maintenance préventive conditionnelle**

Cette forme de maintenance préventive est subordonnée à des événements prédéterminés révélateurs de l'état de dégradation du bien, tels que l'autodiagnostic, l'information d'un capteur, ou la mesure d'une usure.

- **Maintenance préventive prévisionnelle**

La maintenance préventive prévisionnelle repose sur l'examen attentif de l'évolution surveillée de paramètres clés liés à la dégradation d'un bien, ce qui permet de différer et de planifier les interventions de manière anticipée.



**Figure I. 2 : Les différents types de maintenance**

### I.5. Choix de méthode de maintenance : [7]

La décision entre les différentes méthodes de maintenance s'insère dans le contexte de la stratégie de maintenance et nécessite une prise de décision en collaboration avec la direction de l'entreprise. Afin de faire un choix éclairé, il est essentiel d'être au fait des objectifs de la direction, des orientations stratégiques en matière de maintenance, ainsi que de comprendre le fonctionnement et les caractéristiques des équipements, la manière dont le matériel se comporte pendant son utilisation, les circonstances dans lesquelles chaque méthode est mise en œuvre, ainsi que les coûts de maintenance et les coûts liés à la perte de production.

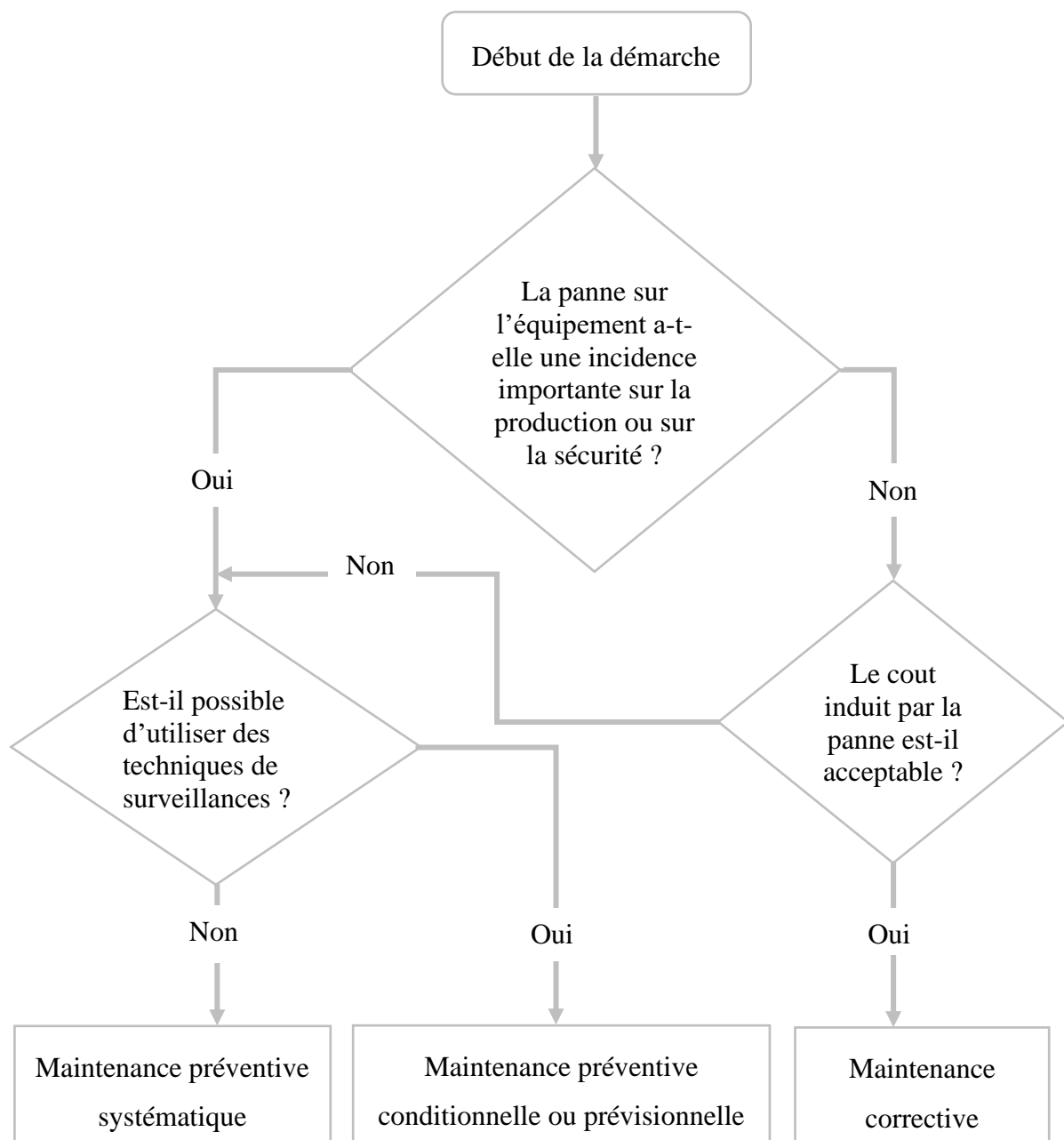


Figure I. 3 : Démarche suivi pour le choix d'un type de maintenance [7]

## **I.6. Buts de la maintenance préventive : [4]**

Les objectifs de la maintenance préventive sont variés, visant à améliorer la fiabilité des équipements et à optimiser la gestion des ressources. Ces objectifs comprennent :

- Augmentation de la fiabilité des équipements, réduisant ainsi les défaillances en service, abaissant les coûts de défaillance et améliorant la disponibilité.
- Extension de la durée de vie efficace des équipements.
- Amélioration de l'ordonnancement des travaux, renforçant les relations avec la production.
- Réduction et régularisation de la charge de travail.
- Facilitation de la gestion des stocks grâce aux consommations prévues.
- Garantie de la sécurité en minimisant les interventions improvisées et dangereuses.
- Amélioration du climat des relations humaines en réduisant l'impact des pannes imprévues sur la tension.

### **I.6.1. But de la maintenance préventive systématique**

L'objectif de cette maintenance est de maintenir le système dans son état de performances initiales. Cela implique des opérations telles que le remplacement d'huile, de pièces d'usure, de joints d'étanchéité, de ressorts, ainsi que des réglages et des contrôles divers pour assurer le bon fonctionnement.

### **I.6.2. But de la maintenance préventive prévisionnelle**

Cette maintenance vise à contrôler les composants des machines avant la défaillance, en diagnostiquant les problèmes avant le déclenchement de l'intervention. L'objectif est de terminer la maintenance avant que les paramètres ne dépassent les seuils critiques.

### **I.6.3. But de la maintenance préventive conditionnelle**

Les objectifs incluent l'élimination ou la limitation du risque de panne, le maintien de la production à un niveau acceptable, la réduction des temps d'arrêt, la diminution des dépenses d'entretien en intervenant précocement, l'intervention planifiée sans urgence, et le ralentissement du vieillissement des équipements.

## I.7. Les fonctions de la maintenance : [5]

Selon la norme FD X60-000, la fonction principale de la maintenance est de maintenir la disponibilité de l'outil de production par des actions préventives et correctives. Elle vise à assurer l'aptitude des équipements à accomplir leur fonction requise dans des conditions d'utilisation spécifiées, pendant une période donnée. Les principales fonctions de la maintenance sont représentées dans la figure suivante.

Méthodes	Ordonnancement	Réalisation
<ul style="list-style-type: none"><li>Analyse du travail.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Prévision de charge.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Interventions correctives.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>Préparation des travaux.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Planification des travaux.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Interventions préventives.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>Exploitation des retours d'activité.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Répartition et suivi du travail.</li><li>Gestion des moyens logistique.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Préparation des travaux.</li><li>Retours d'activités.</li><li>Autres travaux.</li></ul>

**Figure I. 4 :** Les trois fonctions opérationnelles de la maintenance [5]

### I.7.1. La fonction méthode

La fonction méthode dans la maintenance joue un rôle crucial en assurant la préparation et l'optimisation des interventions. Pour la maintenance corrective, cela implique l'anticipation des risques et la résolution des problèmes potentiels pour les intervenants. Dans le cadre de la maintenance préventive, la fonction méthode se concentre sur la définition du plan de maintenance, son évaluation en termes de coût et d'efficacité, ainsi que sur l'optimisation globale. Les activités du service méthode comprennent également des propositions d'améliorations techniques et organisationnelles, une assistance technique sur site et un soutien au diagnostic.

#### ➤ Le rôle de bureau étude et méthode

Le bureau étude et méthode remplit un triple rôle essentiel dans la maintenance :

- Gestion technique des équipements.
- Préparation des interventions curatives et préventives.
- Analyse des coûts et optimisation des méthodes et moyens.

### I.7.2. La fonction ordonnancement

La fonction d'ordonnancement joue le rôle de chef d'orchestre dans le domaine de la maintenance, en veillant à la coordination des activités internes et externalisées. Ses principales tâches consistent à planifier les travaux, à optimiser l'utilisation des ressources en tenant compte des délais et des chemins critiques, ainsi qu'à surveiller l'avancement des travaux. L'ordonnancement est crucial pour intégrer les dépannages dans le planning, même si la nature imprévisible des pannes pose des défis. Il vise à prévoir, optimiser, lancer, et contrôler les travaux, en ajustant en continu en cas d'écart entre les prévisions et les réalisations.

#### ➤ **Le rôle de la planification de maintenance préventive [5]**

- Effectuer un nettoyage approfondi des équipements

Il revêt une grande importance d'entretenir et de nettoyer de manière exhaustive tous les équipements de l'entreprise. L'application d'une couche de peinture sur les machines peut révéler des problèmes qui pourraient passer inaperçus sous la saleté.

- Valoriser les équipements

Pour accentuer le point culminant, il est conseillé d'intégrer des éléments visuels tels que des affiches ou des illustrations, mettant en avant les principales caractéristiques de l'équipement à travers des dispositifs spécifiques.

- Établir une évaluation de la criticité des équipements

Normalement, chaque machine devrait suivre un plan de maintenance minimal à des intervalles fixes. Cependant, il est crucial de reconnaître que toutes les machines ne présentent pas la même importance critique, ou criticité, en matière de maintenance.

- Élaborer un programme de maintenance

Après avoir identifié les équipements les plus critiques, on établit le plan de maintenance préventive.

- Superviser la gestion des pièces de rechange

L'inclusion de la gestion des pièces de rechange s'avère également essentielle dans le cadre de la maintenance préventive. Il est primordial de garantir un stockage approprié des pièces dans un lieu dédié. Il convient de veiller à éviter toute surcharge



de l'entrepôt de pièces de maintenance, car cela engendrerait une utilisation inefficace de l'espace disponible.

### **I.7.3. La fonction réalisation**

La fonction réalisation implique la mise en œuvre des moyens définis dans le dossier de préparation afin d'atteindre les résultats anticipés dans les délais fixés par l'ordonnancement.

## **I.8. Les opérations de la maintenance : [6]**

### **I.8.1. Le dépannage**

Le dépannage vise à remettre en état de fonctionnement un bien en panne de manière provisoire, souvent suivie d'une réparation.

### **I.8.2. La réparation**

La réparation est une intervention définitive de maintenance corrective après une panne ou une défaillance.

### **I.8.3. La surveillance**

La surveillance implique la réalisation régulière de contrôles, de visites et d'inspections, soit de façon continue, soit à des intervalles définis à l'avance, relevant de la maintenance préventive.

### **I.8.4. Les révisions**

Les révisions comprennent des examens, des contrôles et des interventions pour garantir la fiabilité du bien sur une période définie. On différencie les révisions partielles et générales selon l'ampleur des opérations requises.

## **I.9. Les niveaux de la maintenance : [6]**

Les différents stades de la maintenance sont classifiés en cinq niveaux. Ces niveaux sont fournis à titre indicatif par une norme, servant de référence pour guider leur application pratique. Leur utilisation est envisageable uniquement entre des parties qui ont convenu d'une définition précise en fonction du type de bien à entretenir.

- Premier niveau de maintenance

Il comprend des tâches élémentaires indispensables à l'opération, exécutées sur des éléments aisément accessibles en toute sécurité grâce à des équipements de soutien intégrés au

sein du dispositif. Ces opérations peuvent être exécutées par l'utilisateur avec les équipements de soutien intégrés et selon les instructions d'utilisation.

- Deuxième niveau de maintenance

Il comprend des tâches nécessitant des procédures simples et/ou des équipements de soutien, qui peuvent être internes ou externes, et qui sont faciles à utiliser ou à mettre en place. Ce niveau de maintenance est réalisé par des professionnels qualifiés selon des instructions précises et avec des équipements de soutien spécifiés.

- Troisième niveau de maintenance

Il comprend des opérations nécessitant des procédures complexes et/ou des équipements de soutien portatifs, complexes dans leur utilisation ou mise en œuvre. Ce type d'opération peut être réalisé par un technicien qualifié, conformément aux procédures et équipements définis dans les instructions de maintenance.

- Quatrième niveau de maintenance

Il implique des opérations nécessitant une expertise dans des techniques ou technologies spécifiques, et/ou l'utilisation d'équipements de soutien spécialisés. Ces opérations sont réalisées par un professionnel qualifié ou une équipe spécialisée, en suivant toutes les directives de maintenance générales ou spécifiques.

- Cinquième niveau de maintenance

Il implique des opérations requérant un savoir-faire technique ainsi que l'utilisation de techniques, technologies, procédures et/ou équipements industriels spécifiques. Par nature, ces activités de maintenance, telles que la rénovation ou la reconstruction, sont réalisées par le fabricant ou une entité spécialisée, utilisant des équipements de soutien prescrits par le fabricant, similaires à ceux employés lors du processus de fabrication du bien en question.

### **I.10. Aspect économique de la maintenance : [8]**

La maintenance, en tant que composante cruciale de la gestion des actifs industriels, ne se limite pas à la préservation des équipements. Elle joue également un rôle essentiel du point de vue économique.

➤ Coût de la maintenance

Le coût de la maintenance englobe toutes les dépenses liées à la planification, l'exécution et le suivi des activités de maintenance. Il comprend les coûts directs tels que la main-

d'œuvre, les pièces de rechange, et les coûts indirects comme la perte de production pendant les périodes d'arrêt planifiées.

Avec :

- **Cm** : Coûts directs de maintenance, et égale la somme des : **Cmo** (Coût de main d'œuvre), **Cf** (Coûts fixes du service maintenance), **Ccc** (Coût de consommables), **Ce** (Coûts externalisées).
- **Ci** : Coûts indirects de maintenance (Coût de non-efficacité de maintenance), et égale la perte de production **Cp**.
- **Cd** : Le coût de maintenance corrective, également connu sous le nom de coût de défaillance, est la somme des coûts directs et indirects.
- Les coûts de maintenance préventive (**Cmp**) évoluent de manière inverse par rapport aux coûts directs de maintenance corrective (**Cmc**). Lorsqu'une prévention est intensément mise en œuvre, les coûts correctifs tendent à devenir marginaux. En d'autres termes, une maintenance préventive efficace peut réduire les pannes, entraînant ainsi une diminution des coûts liés à leur correction.

### I.11. FMDS : Pilier de la maintenance performante : [9]

La maintenance industrielle repose sur un socle solide constitué de quatre composantes essentielles regroupées sous l'acronyme FMDS, qui représente la Sûreté de Fonctionnement des équipements : Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité et Sécurité. Chacune de ces facettes joue un rôle crucial dans le maintien des performances et de l'efficacité des équipements.

#### I.11.1. Fiabilité

- Définition de la fiabilité

La fiabilité d'un équipement se définit par sa capacité à fonctionner sans défaillance pendant une période donnée et dans des conditions spécifiques.

- Objectif de la fiabilité en maintenance

L'analyse de la fiabilité joue un rôle essentiel dans toute étude de sûreté de fonctionnement. Initialement appliquée aux systèmes de haute technologie tels que les centrales nucléaires et l'aérospatial, la fiabilité est devenue un paramètre clé de la qualité et une aide à la prise de décision, couvrant divers secteurs tels que le transport, l'énergie, la construction, l'électronique, la mécanique, etc. De nombreux fabricants s'engagent à évaluer et à améliorer la fiabilité de leurs produits dès leur conception

jusqu'à leur déploiement, afin de comprendre le rapport coût/fiabilité et de contrôler les sources de défaillance. L'analyse de la fiabilité, notamment dans le domaine de la mécanique, est un instrument essentiel pour évaluer le comportement d'un produit à différentes étapes de sa durée de vie, évaluer l'impact des modifications de conception, certifier de nouveaux produits et optimiser leurs performances tout au long de leur exploitation.

### **I.11.2. Maintenabilité**

- Concept de maintenabilité

La maintenabilité vise à assurer que les biens (comme des équipements, des systèmes, des logiciels, etc.) peuvent être maintenus ou réparés de manière efficace afin de les remettre en état de fonctionnement conforme à leurs spécifications. Elle englobe la facilité avec laquelle les opérations de maintenance peuvent être effectuées, y compris la détection, le diagnostic, la correction des défaillances, et la mise à jour des composants. La maintenabilité peut être définie par sa MTTR (Mean Time To Repair), également connue sous le nom de Moyenne des Temps Techniques de Réparation.

- Stratégies pour améliorer la maintenabilité

Pour améliorer la maintenabilité d'un système, il faut développer des guides de maintenance, faciliter le démontage avec des mécanismes rapides peut réduire le temps nécessaire pour la maintenance, et favoriser l'interchangeabilité des pièces. Ces approches combinées rendent la maintenance plus efficace et économique.

### **I.11.3. Disponibilité**

- Définition de la disponibilité

La disponibilité d'un bien, d'un système ou d'un service représente la capacité de celui-ci à être opérationnel et accessible pour l'utilisateur lorsqu'il en a besoin. Elle mesure le temps pendant lequel le bien est en état de fonctionnement et prêt à accomplir sa fonction spécifiée.

- Maximiser la disponibilité

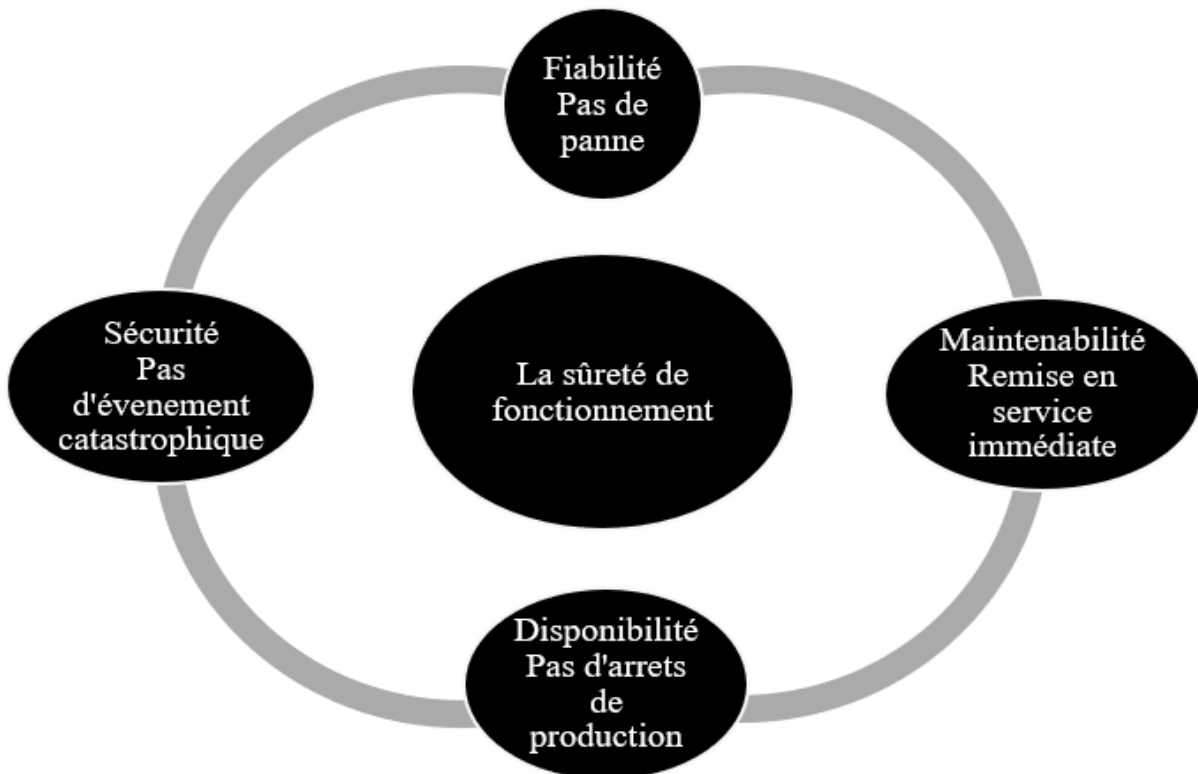
Pour garantir une disponibilité optimale d'un équipement, il est essentiel de réduire au minimum les pannes (augmenter la MTBF) et de minimiser le temps de réparation en cas de défaillance (diminuer la MTTR). Cela nécessite une conception robuste, une

maintenance préventive et des procédures de réparation efficaces, contribuant ainsi à assurer un fonctionnement continu et fiable de l'équipement.

#### **I.11.4. Sécurité**

La sécurité dans la maintenance englobe les pratiques visant à garantir la sûreté des personnes, des équipements et de l'environnement pendant les opérations de maintenance. Intégrer la sécurité dans la planification de la maintenance contribue à prévenir les accidents et à assurer des interventions sans risque.

La sûreté de fonctionnement englobe ces quatre composants, où la prévention des défaillances, l'efficacité des opérations de maintenance, la disponibilité des systèmes et la sécurité des interventions convergent pour optimiser les performances des équipements tout au long de leur cycle de vie. Figure (I.5)



**Figure I. 5 : FMDS : Pilier de la maintenance performante [9]**

## **Conclusion**

En conclusion du chapitre I, nous avons abordé les aspects fondamentaux de la maintenance. Elle vise à optimiser la disponibilité des équipements, est essentielle pour assurer la performance à long terme. Ces concepts jetés, notre prochain chapitre plongera plus profondément dans le domaine de la maintenance basée sur la fiabilité (MBF), où nous continuerons notre exploration pour élaborer des stratégies de planification préventive optimisées.

---

## **Chapitre II : La Maintenance Basée sur la Fiabilité MBF**

---

### Introduction

La Maintenance Basée sur la Fiabilité (MBF) révolutionne l'approche de la maintenance industrielle en privilégiant la prévention des défaillances plutôt que la réaction à celles-ci. Cette méthodologie met la fiabilité au centre de ses préoccupations pour assurer la continuité opérationnelle et optimiser l'efficacité des équipements. Avant de plonger dans les méandres de cette méthode, il est impératif de comprendre les fondements de la fiabilité, ses lois inhérentes. Par la suite, nous introduirons les outils d'aide à la décision et de diagnostic, en mettant particulièrement l'accent sur la méthode ABC (Pareto) et la méthode (AMDEC). Ces outils puissants s'intègrent harmonieusement dans la démarche de la maintenance basée sur la fiabilité (MBF).

### II.1. La fiabilité :

#### II.1.1. L'historique [10]

À travers l'histoire, l'homme a toujours cherché à construire des éléments fiables, que ce soit dans les domaines militaires, spatiaux, nucléaires, automobiles ou dans les biens d'équipement. Des efforts ont été faits dès 1906 aux États-Unis, avec les tubes à vide électroniques, et les roulements à billes ont également été étudiés. En parallèle, en Allemagne, intégraient déjà la notion de durée de vie lors de la conception de leurs nouveaux chasseurs. À partir de 1950, la fiabilité a progressivement évolué pour devenir un sujet central dans le domaine du génie mécanique.

#### II.1.2. Définition de la fiabilité [11]

Selon la norme AFNOR, la fiabilité se décrit comme la probabilité qu'un dispositif exécute correctement une fonction spécifique, dans des conditions d'utilisation précises et sur une durée définie.

#### II.1.3. Expressions mathématiques de la fiabilité [11]

##### ➤ Expression 1 –Fonction défaillance

On appelle fonction de défaillance la fonction F définie telle que :

$$\forall t \geq 0: F(t) = P(T \leq t)$$

(II. 1)

Avec : (P : Probabilité -T : Variable Aléatoire)



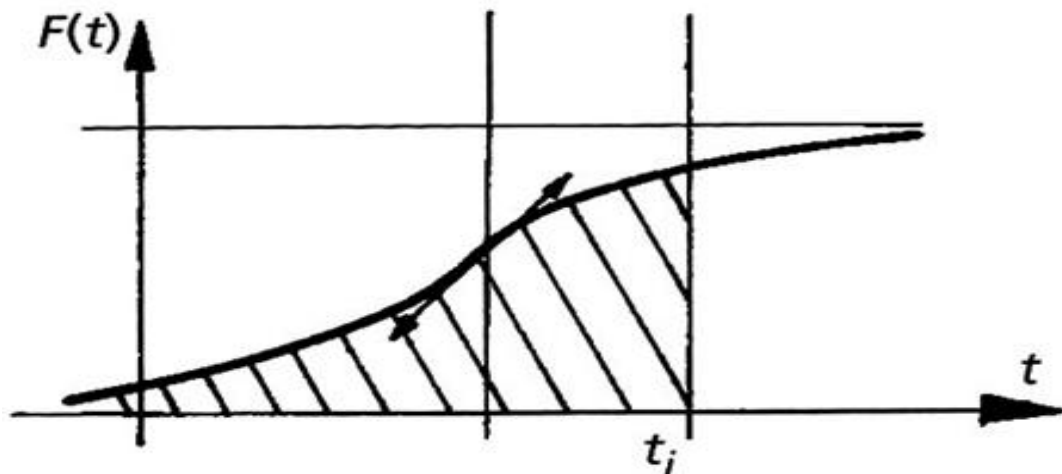
Cette loi de probabilité associée à la variable aléatoire T permet d'évaluer les probabilités d'occurrence des différentes valeurs de cette variable. Le terme F(t) quantifie la probabilité qu'un dispositif, sélectionné de manière aléatoire dans la population, présente une défaillance avant le moment t.

➤ La densité de cette probabilité (distribution) est :

$$F'(t)=f(t)=\frac{dF(t)}{dt}=\lim_{dt\rightarrow\infty} P(t<T<t+dt) \quad (\text{II. 2})$$

Et :

$$F(t)=\int_0^{t_i} f(t). dt \quad (\text{II. 3})$$



**Figure II. 1 : Fonction de répartition [13]**

La probabilité de défaillance commence à zéro au début de la vie du dispositif et augmente progressivement pour atteindre 100% à la fin de sa durée de vie. Figure (II.1).

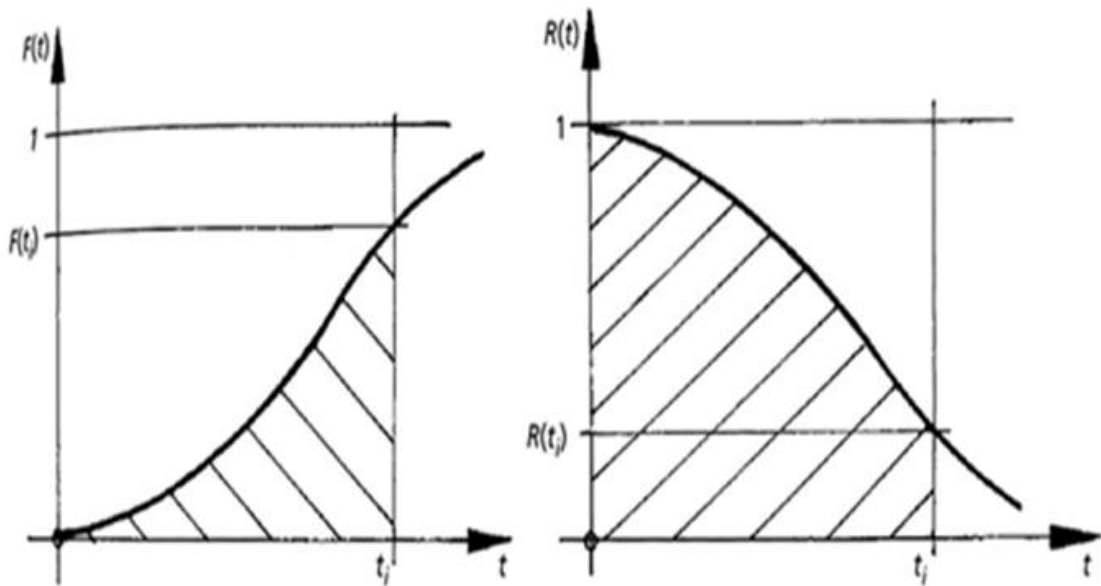
➤ **Expression 2 –Fonction Fiabilité**

On appelle fonction de fiabilité la fonction R définie telle que :

$$\forall t \geq 0 : R(t) = 1 - F(t) = P(T > t) \quad (\text{II. 4})$$

Le terme R(t) désigne la probabilité qu'un dispositif, sélectionné aléatoirement dans la population, n'ait pas de défaillance avant le moment t. Il représente la

probabilité de survie à l'instant t, ou encore la probabilité de bon fonctionnement du dispositif.



**Figure II. 2 : Fonction défaillance et Fonction Fiabilité [13]**

$$\int_0^t f(t).d(t) + \int_t^{+\infty} f(t).d(t) = 1$$

**(II. 5)**

➤ **Expression 3 – MTBF**

La moyenne des temps de bon fonctionnement, notée MTBF (Mean Time Between Failures), représente l'espérance mathématique de la variable aléatoire T.

$$MTBF = E(t) = \int_0^{+\infty} t.f(t).d(t)$$

**(II. 6)**

**Remarques :** En théorie des probabilités, l'espérance mathématique, notée E(X), d'une variable aléatoire (V.A.) est la valeur que l'on peut anticiper en moyenne en réitérant de manière répétée une grande quantité de fois la même expérience aléatoire. Elle correspond à une moyenne pondérée des différentes valeurs possibles de la variable.

➤ **Expression 4 – Taux de défaillance**

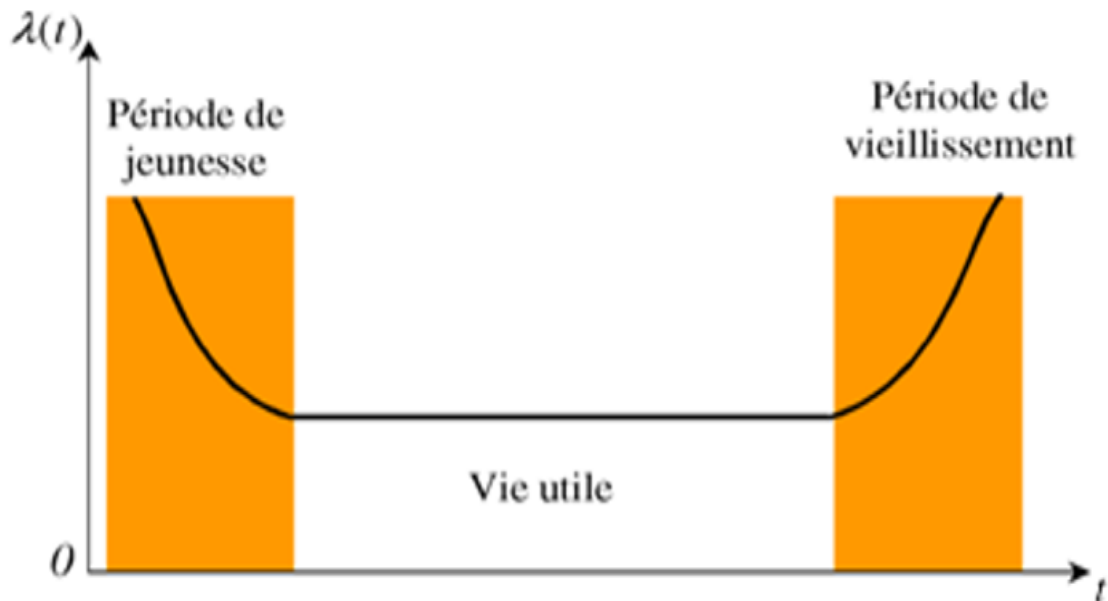
On appelle taux de défaillance instantané à l'instant t le nombre  $\lambda(t)$  tel que :

$$\forall t > 0 : \lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$$

**(II. 7)**

**NB :**

- $\lambda(t)$  est appelée fonction de risque, fonction de hasard, taux d'avarie ou taux de panne.
- De manière expérimentale, on observe que la courbe illustrant le taux de défaillance instantané prend généralement la forme d'une courbe en baignoire, caractérisée par trois zones distinctes pour la plupart des équipements. Figure (II.3)



**Figure II. 3 :** La courbe en baignoire [11]

➤ **Expression 5 –Expression générale de la fiabilité**

Cherchons à déterminer l'expression générale de la fiabilité :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{F'(t)}{1-F(t)} = \frac{-R'(t)}{R(t)} = \frac{dF(t)}{[1-F(t)]dt}$$

(II. 8)

$$\lambda(t)dt = \frac{dF(t)}{1-F(t)} \leftrightarrow - \int_0^t \lambda(t)dt = \int_0^t \frac{-dF(t)}{1-F(t)} = \ln(1-F(t)) - \ln 1-F(0)$$

Au moment  $t=0$ , aucune défaillance :  $F(t=0) = 0$ .

$$e^{\int_0^t \lambda(t)dt} = 1-F(t) \quad \text{(II. 9)}$$

- Donc :

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt} \quad \text{(II. 10)}$$

### II.1.4. Fiabilité d'un système [11]

La détermination de la fiabilité d'un système, qu'il soit électronique, mécanique, ou autre, nécessite initialement la connaissance de la loi de la fiabilité (ou la loi de défaillance) de chacun des composants qui entrent dans la composition du système.

#### II.1.4.1. Fiabilité d'un système constitué de plusieurs composants

- **En série**

La fiabilité, notée  $R_s$ , d'un ensemble composé de  $n$  éléments connectés en série se calcule en multipliant les fiabilités individuelles de chaque composant, telles que  $R_A$ ,  $R_B$ ,  $R_C$ , jusqu'à  $R_n$ .

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

Si les " $n$ " composants sont équivalents avec une fiabilité identique  $R$ , la formule sera simplifiée à  $R_s = R^n$ .

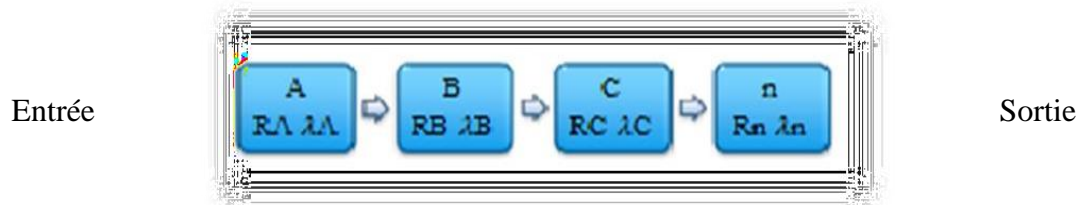


Figure II. 4 : Composants en série [11]

Si les taux de défaillance restent constants au fil du temps, la fiabilité sera calculée selon la formule :

$$R(s) = (e^{-\lambda_A t}) \times (e^{-\lambda_B t}) \times (e^{-\lambda_C t}) \times \dots \times (e^{-\lambda_n t}) \quad \text{(II. 11)}$$

Avec :

$$MTBF = \frac{1}{\lambda_A + \lambda_B + \lambda_C + \lambda_n} \quad \text{(II. 12)}$$

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

$$MTBF = \frac{1}{(n \times \lambda)} \quad \text{(II. 13)}$$

- **En parallèle**

La fiabilité d'un système peut être améliorée en disposant les composants en parallèle. Un dispositif composé de  $n$  éléments en parallèle ne connaîtra une défaillance que si tous les  $n$  éléments tombent en panne simultanément.

Si  $F_i$  représente la probabilité de panne d'un élément, la fiabilité associée  $R_i$  est définie comme son complémentaire :  $F_i = 1 - R_i$

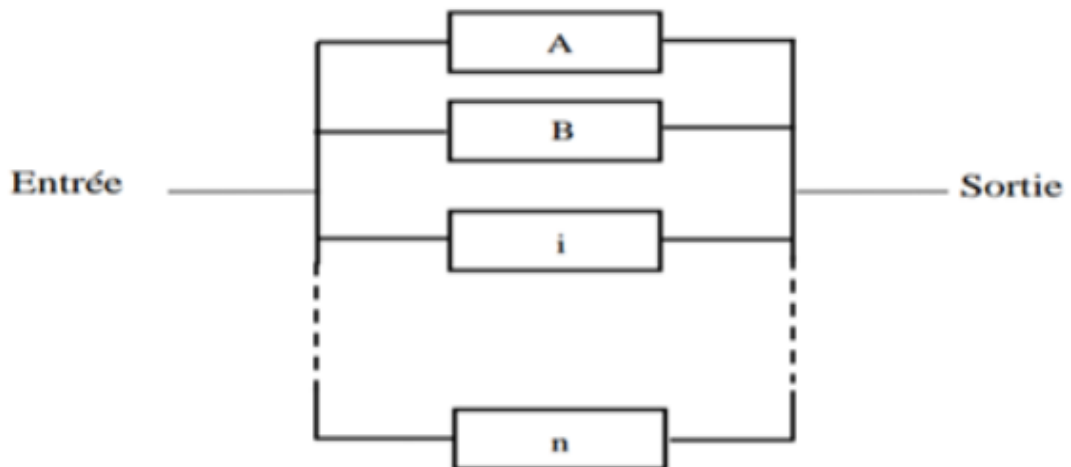


Figure II. 5 : Composant en parallèle [11]

Si l'on considère " $n$ " composants montés en parallèle Figure (II.5), et que la probabilité de panne pour chaque composant est  $F_i$ , alors la fiabilité du système  $R(s)$  en parallèle peut être calculée à l'aide de la formule suivante :

$$R(s) = 1 - (1 - R_i)^n$$

(II. 14)

## II.1.5. Principales lois de probabilité utilisées en fiabilité [12]

### II.1.5.1. Loi exponentielle (loi de vieillissement constant)

La loi exponentielle est souvent utilisée pour modéliser la distribution du temps entre les événements dans un processus de Poisson, où les événements se produisent de manière aléatoire et indépendante. La moyenne du temps entre les événements est représentée par le MTBF (Mean Time Between Failures) ou, dans le contexte de la loi exponentielle, l'inverse du taux de défaillance, noté  $\lambda$  (lambda).

Elle décrit la période pendant laquelle les temps de bon fonctionnement des équipements restent constants, indiquant ainsi que la probabilité de défaillance reste constante à tout moment au cours de cette période.

En particulier, la loi exponentielle s'applique lorsque le taux de défaillance est constant (la période de maturité), et elle régit la variable aléatoire T dans de tels cas.

Pour :  $t \geq 0$

- On a  $\lambda(t) = \lambda$  constante strictement positive.
- Fonction de fiabilité :

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (\text{II. 15})$$

- Fonction de défaillance :

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (\text{II. 16})$$

- Densité de probabilité :

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (\text{II. 17})$$

### A. Représentation graphique de la loi exponentielle

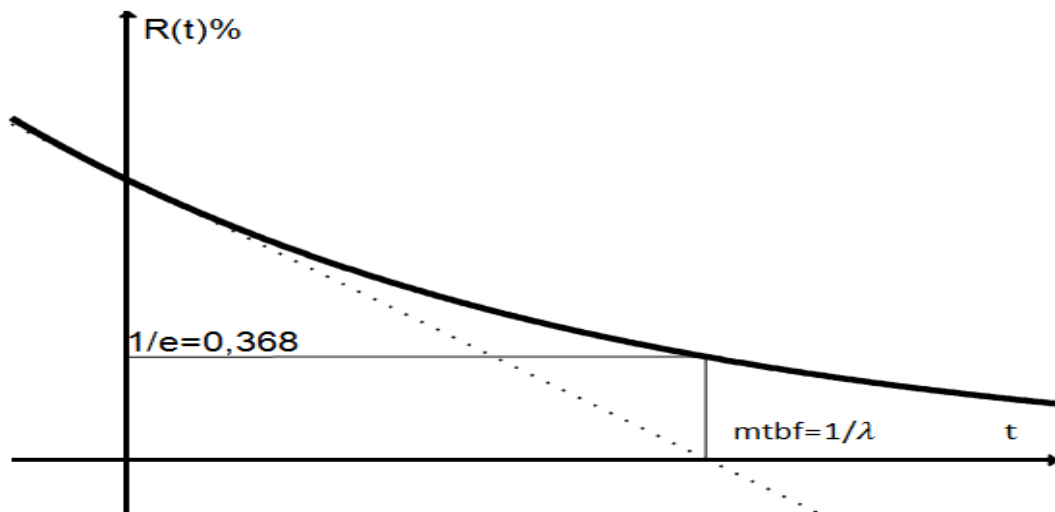


Figure II. 6 : loi exponentielle [13]

#### Remarque :

$$\triangleright R\left(\text{MTBF} = \frac{1}{\lambda}\right) = e^{-\lambda \times \text{MTBF}} = e^{-1} = 0,368 \quad (\text{II. 18})$$

- Ainsi,  $R(\text{MTBF})=e^{-1}$  représente la probabilité que le système survive jusqu'au MTBF dans le contexte d'une distribution exponentielle.

**B. Méthodologie**

1) Préparation des données :

- Identification des périodes de bon fonctionnement (TBF).
- Organisation des périodes de bon fonctionnement par ordre croissant.
- Calcul des valeurs de  $R(i)$  (rang brut, moyen ou médian) :  $F(i)$  représente la probabilité de panne associée à la durée de bon fonctionnement de l' $i$ -ème défaillant.
- Suivant la taille  $N$  de l'échantillon, on estime la fiabilité  $R(i)$  par :
  - Si  $N > 50$  : rang brut :

$$R(i) = 1 - \frac{i}{N} \quad (\text{II. 19})$$

- Si  $20 < N \leq 50$  : rang moyen :

$$R(i) = 1 - \frac{i}{N+1} \quad (\text{II. 20})$$

- Si  $N \leq 20$  : rang médian :

$$R(i) = 1 - \frac{i-0,3}{N+0,4} \quad (\text{II. 21})$$

- 2) Création les points  $(t_i, R_i)$ .
- 3) Tracé de la courbe de régression à travers les  $N$  points.
- 4) En cas d'alignement significatif des  $N$  points (formant une droite), on peut conclure que la loi de fiabilité est exponentielle.
- 5) Estimation :
  - ✓ MTBF
  - ✓  $\lambda = 1/\text{MTBF}$
  - ✓  $R(t) = e^{-\lambda t}$
  - ✓  $v = \sigma^2 = 1/\lambda^2$
  - ✓  $\sigma = 1/\lambda$

**II.1.5.2. Loi de Weibull**

Weibull a opté pour une loi exprimée sous forme de puissance avec trois paramètres, offrant ainsi la flexibilité nécessaire pour représenter des situations variées : décroissantes, constantes et croissantes. La loi de Weibull est fréquemment utilisée dans le domaine de la fiabilité, en particulier en mécanique. Sa souplesse est un atout majeur, lui permettant de s'ajuster à une diversité de résultats expérimentaux. Cette loi continue repose sur trois paramètres :

- Le paramètre de position ( $\gamma$ ) reflète la possibilité d'un décalage entre le début de l'observation (la date à laquelle on commence à observer un échantillon) et le commencement du processus observé (la date à laquelle le processus s'est manifesté pour la première fois).
- Le paramètre d'échelle ( $\eta$ ), comme son nom l'indique, fournit des informations sur l'étendue de la distribution. Il influence la variation de la durée de vie des composants ou des phénomènes observés.
- Le paramètre de forme ( $\beta$ ) est en relation avec la dynamique du phénomène étudié. Il détermine la forme de la distribution de probabilité et en particulier s'il s'agit d'une distribution exponentielle de Weibull ou d'une autre forme. Un  $\beta$  supérieur à 1 indique une probabilité de défaillance croissante avec le temps (vieillessement), un  $\beta$  égal à 1 correspond à une distribution exponentielle (la zone de maturité), tandis qu'un  $\beta$  inférieur à 1 indique une probabilité de défaillance décroissante avec le temps (la zone de jeunesse).

**A. Caractéristiques**

❖ La variable aléatoire T suit la loi de Weibull lorsque son taux d'avarie est :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad \text{(II. 22)}$$

❖ Pour tout  $t > \gamma$  :

$$R(t) = e^{-\left[ \left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta \right]} \quad \text{(II. 23)}$$

$$F(t) = 1 - e^{-\left[ \left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta \right]} \quad \text{(II. 24)}$$



$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \times e^{-\left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta} \quad (\text{II. 25})$$

$$\text{MTBF} = E(t) = A\eta + \gamma \quad (\text{II. 26})$$

$$\sigma = B \times \eta \quad (\text{II. 27})$$

❖ **Note :** A et B sont des paramètres issus de tables de valeurs.

## B. Méthodologie

1) Préparation des données :

- Identification des temps de bon fonctionnement (TBF).
- Classement des TBF par ordre croissant.
- Estimation des valeurs  $F(i)$  (rang brut, moyen ou médian) :  $F(i)$  représente la probabilité de panne associée au temps de bon fonctionnement de l' $i$ -ème défaillant.

2) Création les points  $(t_i, F_i)$ .

3) Traçage de la droite de Weibull.

4) Détermination des trois paramètres  $\beta, \eta, \gamma$  :

- Le paramètre  $\beta$  représente la pente du nuage créé, illustré par exemple avec « D », c'est-à-dire l'intersection de  $D'$  avec l'axe des ordonnées (l'axe b) (voir Figure (II.7)), où D est parallèle à  $D'$ .
- Le paramètre  $\eta$  est l'intersection de D avec l'axe des abscisses. (L'axe A)
- Le paramètre  $\gamma$  est lié à la forme du nuage de points (Si les points approximent une droite, donc  $\gamma=0$ . Dans le cas d'une courbe plutôt qu'une droite, diverses méthodes de redressement « logiciels spécialisés » peuvent être appliquées pour transformer la courbe en une forme linéaire, permettant ainsi de déterminer ces paramètres).

5) Élaboration de l'équation de la loi de Weibull.

6) Calcul de la MTBF.

7) Analyse et exploitation des résultats obtenus.

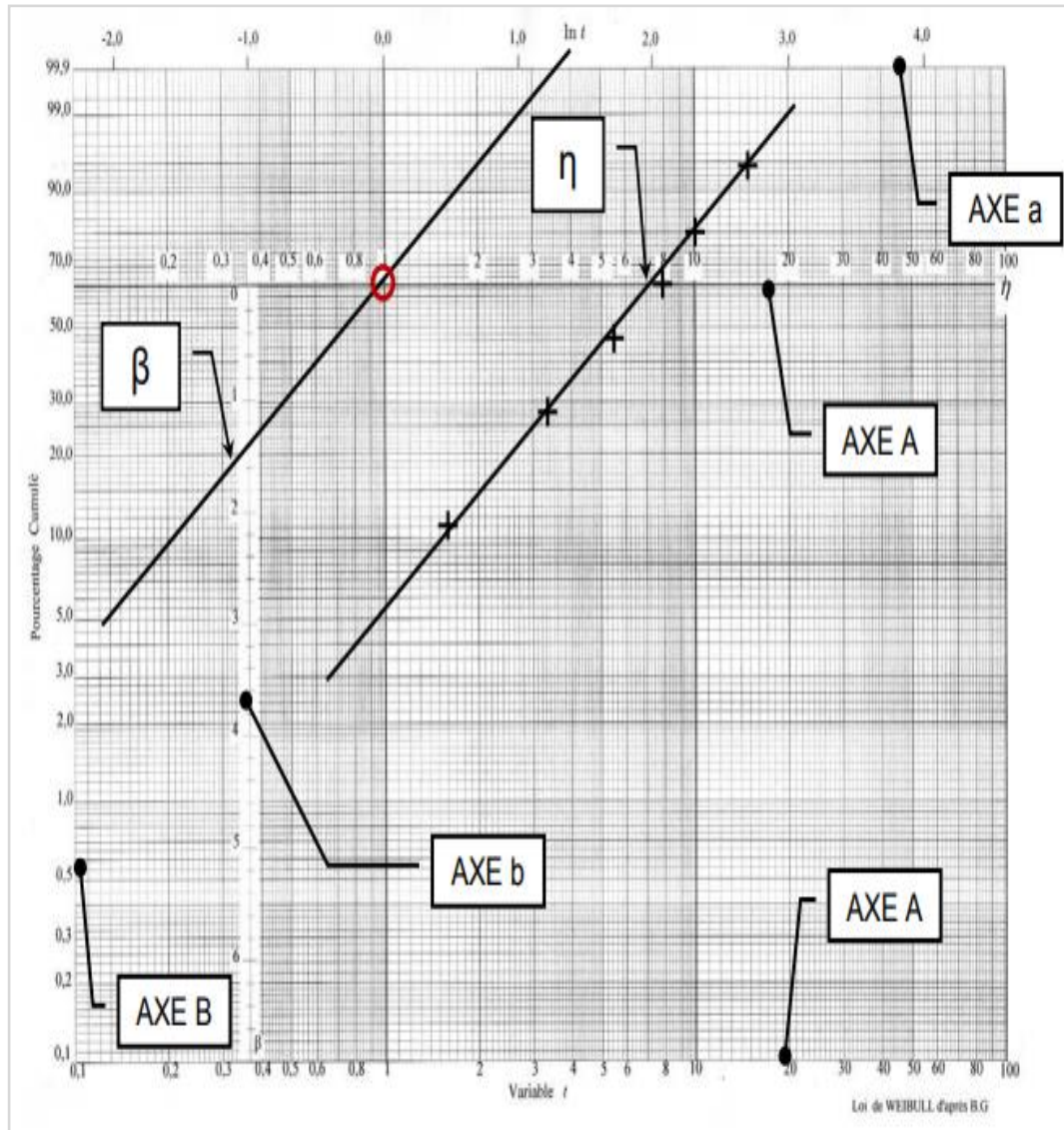


Figure II. 7 : loi Weibull « d'Allen Plait » (échelle fine) [13]

- Sur l'axe A, on représente les instants  $t_i$  des temps de bon fonctionnement (TBF)
- Sur l'axe B, on indique les probabilités de défaillance  $F_i$  obtenues grâce à la méthode des rangs.
- Axe a : axe des temps en logarithmes népériens :  $\ln(t)$ .
- Axe b : axe qui permet l'évaluation de  $\beta$ .

### II.1.5.3. La loi normale

La distribution normale est largement adoptée parmi les lois de probabilité en raison de son applicabilité à de nombreux phénomènes.

En ce qui concerne la fiabilité, elle est utilisée pour illustrer la répartition des durées de vie des dispositifs en phase terminale (liées à l'usure), car le taux de défaillance est constamment croissant. Son utilisation est justifiée lorsque la moyenne des durées de vie dépasse trois fois l'écart-type. Il convient de noter que la loi normale à deux paramètres :  $m$  (la moyenne),  $\sigma$  (l'écart type).

**A. Caractéristiques**

❖ Densité de probabilité :

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-m}{\sigma}\right)^2} \quad \text{(II. 28)}$$

Avec :  $E(t) = m$  (espérance mathématique)

$\sigma^2 = \text{Variance}$

❖ La fonction de répartition :

$$F(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-m}{\sigma}\right)^2} dt \quad \text{(II. 29)}$$

❖ La fonction de fiabilité :

$$R(t) = 1 - F\left(\frac{t-m}{\sigma}\right) \quad \text{(II. 30)}$$

❖ Où "F" représente la fonction de répartition de la loi normale centrée (moyenne  $m=0$ ).

$$F(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} dt \quad \text{(II. 31)}$$

**B. Méthodologie**

L'estimation des paramètres  $m$  (moyenne) et  $\sigma$  (écart type) de la loi normale peut être réalisée en utilisant un graphique de la distribution normale. Les graduations sur l'axe des abscisses représentent les intervalles de classe, tandis que sur l'axe des ordonnées, les valeurs de la fonction de répartition  $F(i)$ .

- Identification de la moyenne ( $m$ ) : Trouvez l'intersection de la distribution normale avec la droite  $F=50\%$  sur le graphique. Cette intersection permet d'estimer la moyenne ( $m$ ) de la distribution. Une moyenne plus élevée indique une durée de vie attendue plus longue, ce qui signifie une meilleure fiabilité.
- L'écart type ( $\sigma$ ) quantifie l'éparpillement des données par rapport à la moyenne. Une valeur plus élevée d'écart type indique une plus grande variabilité dans les performances des équipements. Une faible dispersion suggère une fiabilité plus constante, tandis qu'une dispersion plus importante peut indiquer des performances plus variables.

En pratique, des logiciels statistiques comme « *Minitab Statistical Software* » pour générer des graphiques et effectuer ces calculs de manière plus automatisée.

## II.2. Outils d'aide à la décision et diagnostic : [14]

### II.2.1. Méthode ABC (Pareto)

Face à la multitude de préoccupations auxquelles est confronté un responsable de maintenance, il est essentiel de prendre des décisions quant aux défaillances à étudier ou à améliorer en priorité. Il est crucial de se concentrer sur celles qui revêtent le plus de criticité et dont la résolution ou l'amélioration serait la plus avantageuse, notamment en termes de coûts liés à l'indisponibilité (Coût de non-efficacité de maintenance).

La méthode ABC offre une solution en permettant d'analyser et de mettre en évidence les aspects les plus cruciaux d'un problème, facilitant ainsi la prise de décisions et la gestion des priorités. Elle consiste à classer les événements tels que les pannes par ordre décroissant de coûts, incluant les temps d'arrêt et les coûts financiers, par exemple. Ensuite, un graphique est créé pour associer les pourcentages des coûts cumulés avec les pourcentages cumulés des types de pannes ou de défaillances des autres événements.

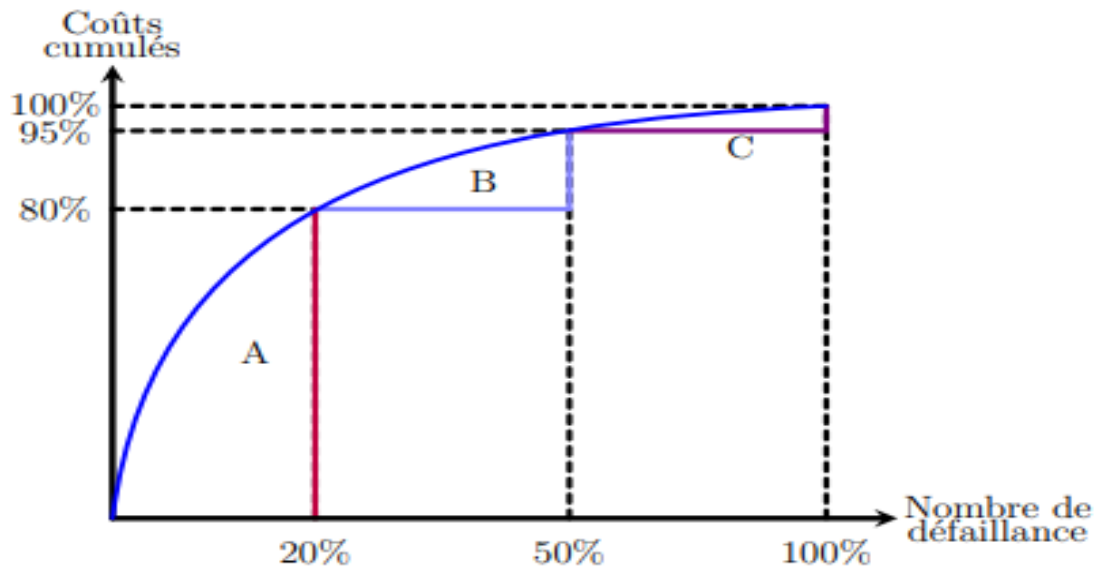


Figure II. 8 : La courbe ABC [15]

Le schéma met en évidence trois zones distinctes :

- **Zone A** : Seulement 20% des pannes entraînent 80% des coûts, soulignant ainsi l'importance cruciale de traiter ces pannes en priorité.
- **Zone B** : Les 30% de pannes supplémentaires ne représentent qu'une augmentation de 15% des coûts totaux, indiquant une moindre criticité par rapport à la Zone A.
- **Zone C** : Les 50% de pannes restantes sont responsables de seulement 5% du coût global, suggérant qu'elles ont une influence relativement faible sur le coût total du système.

Remarque : Il est évident que la préparation des travaux de maintenance doit être portée sur les pannes de la zone A.

### II.2.2. AMDEC : Vers une maintenance fiabilisée

L'Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC) constitue une méthode préventive visant à détecter et à mettre en évidence les risques potentiels. Dans le contexte de l'AMDEC conception, elle permet d'identifier les points faibles, de spécifier les mesures préventives contre d'éventuelles défaillances, et de classer ces dernières en fonction de divers critères tels que la fréquence, la capacité de détection, la criticité, la gravité, etc.

Ainsi, l'AMDEC conception s'avère être un outil extrêmement puissant pour guider le processus de conception des systèmes. Néanmoins, bien que son application durant

la phase de conception soit pertinente, elle révèle toute son efficacité lorsqu'elle est mise en œuvre sur des systèmes déjà opérationnels, notamment dans le cadre de l'amélioration des stratégies de maintenance.

### II.2.2.1. Les types d'AMDEC

- **L'AMDEC produit** : Elle sert à assurer la fiabilité d'un produit en améliorant sa conception.
- **L'AMDEC processus** : Assure la qualité d'un produit en améliorant les opérations de production de celui-ci.
- **L'AMDEC moyen de production** : Elle assure la disponibilité et la sécurité d'un moyen de production en améliorant sa maintenance.

### II.2.2.2. Les étapes de la méthode AMDEC

Cette approche se déploie en quatre étapes distinctes, débutant par une phase préliminaire qui implique la collecte de données nécessaire à l'étude, la formation d'un groupe de travail, ainsi que la préparation des documents, tableaux et logiciels requis.

#### ÉTAPE 01 : Initialisation

Cette phase vise à définir de manière explicite le problème, à préciser le contenu et les paramètres de l'étude envisagée, et à rassembler l'ensemble des documents et informations essentiels à sa bonne exécution. Cela implique les étapes suivantes :

1. Clarification du périmètre du système à examiner.
2. Identification et spécification de la phase de fonctionnement à étudier.
3. Établissement des objectifs à accomplir au cours de l'étude.
4. Formation d'un groupe de travail dédié.
5. Élaboration des supports nécessaires à la conduite de l'étude.

#### ÉTAPE 02 : Décomposition fonctionnelle

Cette étape implique une identification précise des éléments à examiner ainsi que de leurs fonctions respectives, notamment à travers :

1. La subdivision du système.
2. La clarification des fonctions des sous-ensembles.
3. L'identification des fonctions attribuées à chaque élément.

Les résultats de la décomposition des composantes élémentaires de la machine étudiée serviront de préparation essentielle à l'application de la méthode AMDEC.

### PHASE 03 : Analyse AMDEC

Cette phase vise à repérer les dysfonctionnements potentiels ou déjà observés dans une machine, à souligner les points critiques, et à formuler des actions correctives pour les résoudre. Cette analyse s'appuie sur les étapes suivantes :

1. Analyse des mécanismes de défaillance : Cette phase comprend quatre opérations distinctes :
  - Identification des modes de défaillances.
  - Recherche des causes.
  - Recherche des effets.
  - Recensement des détections.
2. Évaluation de la criticité : Il s'agit d'évaluer la défaillance à travers plusieurs critères en attribuant une note à chacun d'eux. Trois critères ou indices sont généralement utilisés : la fréquence, la gravité et la détection.
  - L'indice de fréquence (F) ou d'occurrence (O) évalue la probabilité que la cause se matérialise et déclenche le mode de défaillance correspondant. Il constitue également une estimation de la probabilité d'apparition de la cause de défaillance en question.
  - L'indice de gravité (G) se concentre sur l'impact des effets des défaillances sur le produit, ou il s'agit d'une estimation de la sévérité de l'effet maximal de la défaillance.
  - L'indice de détection (D, N ou ND), souvent appelé risque de non-détection pour des raisons de concision, évalue la probabilité que, une fois la cause et le mode de défaillance survenus, la défaillance parvienne à l'utilisateur.

L'indice de criticité (C) résulte des facteurs de risque précédemment mentionnés. Il est calculé en multipliant les trois indices de la manière suivante :

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

(II. 32)

Si chaque indice est évalué de 1 à 4, la criticité peut varier de 1 à 64. À mesure que l'indice augmente, le risque associé aux défaillances potentielles augmente également.

❖ **Tableaux les indices de défaillance [15]**

**Tableau II. 1 : Gravité G**

<b>Niveau de gravité</b>	<b>Indice</b>	<b>Critères</b>
Gravité mineure	1	La production est interrompue pendant moins d'une heure.
Gravité moyenne	2	La production est interrompue pendant moins de quatre heures.
Gravité majeure	3	La production est interrompue pendant moins d'une journée.
Gravité catastrophique	4	La production est interrompue pendant plus d'une journée.

**Tableau II. 2 : Fréquence F**

<b>Niveau de Fréquence</b>	<b>Indice</b>	<b>Critères</b>
Fréquence faible	1	Moins d'une occurrence annuelle.
Fréquence moyenne	2	Moins d'une fois mensuellement.
Fréquence forte	3	Moins d'une fois par semaine.
Fréquence très forte	4	Plus d'une fois hebdomadaire.



Tableau II. 3 : Détection D

Niveau de probabilité de « D »	Indice	Critères
Détection sûre et efficace	1	Détection efficace favorisant des mesures préventives.
Détection exploitable	2	Le système peut parfois ne pas détecter certains risques immédiatement.
Détection difficile	3	Fiabilité limitée du système de détection.
Détection impossible	4	Absence totale de détection.

Tableau II. 4 : Échelle de criticité C

Niveau de criticité	Définition
$1 \leq C \leq 12$	Maintenance corrective.
$12 < C < 18$	Prise de mesures préventives
$18 \leq C < 36$	Mise sous préventif à fréquence élevée
$36 \leq C < 64$	Reprendre la conception

#### PHASE 04 : Synthèse

Cette phase vise à dresser un bilan de l'étude et à fournir les éléments nécessaires pour définir et mettre en œuvre, en toute connaissance de cause, les actions à entreprendre selon cette approche. Cela inclut :

- Hiérarchisation des modes de défaillances.

- Liste des points critiques.
- Liste des recommandations.

Ce récapitulatif sera présenté de manière structurée dans un tableau :

**Tableau II. 5 : Tableau AMDEC [14]**

NOM :	Analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leurs criticités						
Systeme :	DATE :						
Élément	Fonction	Modes de défaillance	Cause	Effet	Détection	Criticité	Action
1	2	3	4	5	6	7	8

1 : Cette colonne est destinée à la désignation de l'élément.

2 : Vous pouvez enregistrer dans cette colonne la fonction accomplie par l'élément pendant le fonctionnement normal.

3 : Cette colonne est dédiée à l'inscription du mode de défaillance, décrivant comment l'élément peut cesser de remplir sa fonction.

4 : Utilisez cette colonne pour noter les causes à l'origine de la défaillance du dispositif, selon le mode de défaillance de l'élément.

5 : Ici, vous pouvez noter les effets découlant de l'apparition des modes de défaillance, tels qu'ils sont perçus par l'utilisateur du dispositif.

6 : Cette colonne est réservée aux modes de détection, qui signalent l'apparition de la défaillance avant qu'elle ne produise des conséquences.

7 : Ces colonnes servent à enregistrer la valeur de la criticité C, calculée à partir des indices F, G et D.

8 : Pour éliminer les points critiques, cette colonne permet d'enregistrer toutes les mesures correctives décidées par le groupe de travail.

### **II.2.2.3. Les différentes actions de l'AMDEC**

La finalité de l'analyse AMDEC, suite à la détection des défaillances critiques, réside dans l'élaboration d'actions visant à remédier au problème identifié. Ces actions se catégorisent en trois types distincts :

#### **1. Actions Correctives**

En cas de non-criticité du problème, une intervention est effectuée au moment où il se manifeste. Dans ce cas, l'action doit être aussi brève que possible afin d'assurer une remise aux normes rapide.

#### **2. Actions Préventives**

Ces actions sont mises en œuvre afin d'anticiper la défaillance avant qu'elle ne se manifeste, dans le but de l'empêcher de se produire. Elles sont planifiées en tenant compte de l'évaluation de la fréquence des défaillances.

#### **3. Actions Amélioratives**

Généralement, il s'agit de modifications de procédé ou de technologies dans le moyen de production, visant à éliminer complètement le problème. Le coût de ce type d'action est significatif et est considéré comme un investissement.

Pour garantir leur efficacité, les actions nécessitent un suivi rigoureux, comprenant les éléments suivants :

- Établissement d'un plan d'action.
- Attribution d'un responsable spécifique à chaque action.
- Définition d'un délai pour la réalisation de chaque action.
- Allocation d'un budget dédié à chaque action.
- Réexamen de l'évaluation suite à la mise en œuvre de l'action et communication des résultats obtenus.

## **II.3. Présentation de la méthode MBF : [15]**

### **II.3.1. L'historique**

Le secteur de l'aéronautique a été à l'avant-garde de l'introduction de la méthode MSG (Maintenance Steering Group) vers la fin des années 1960, visant à mettre en place des programmes de maintenance préventive pour les aéronefs.

Cette approche a été précurseur dans l'évolution de la RCM (Maintenance centrée sur la fiabilité), d'abord développée pour répondre aux besoins spécifiques de l'aviation militaire aux États-Unis, puis adaptée et adoptée par les gestionnaires de centrales nucléaires. Les principes de la RCM ont été incorporés dans une norme internationale, connue en français sous le nom de MBF (Maintenance Basée sur la Fiabilité), afin de favoriser son déploiement à travers divers secteurs industriels.

### II.3.2. Définition

#### RCM

Représente une stratégie de maintenance complète appliquée à un système technologique. Elle repose sur une méthode d'analyse structurée visant à garantir la fiabilité intrinsèque de ce système.

#### MBF

Désigne la Maintenance Basée sur la Fiabilité, représente une méthode conçue pour développer un programme de maintenance préventive en vue d'améliorer de manière progressive la disponibilité des équipements critiques. Cette approche repose essentiellement sur une connaissance approfondie du fonctionnement normal et défectueux des systèmes.

### II.3.3. Objectifs principaux

- Améliorer la disponibilité des équipements identifiés comme critiques en raison de leur impact sur la sécurité, la qualité, et leur influence sur les flux de production.
- Accroître la disponibilité implique la réduction des défaillances techniques grâce à la mise en place d'un plan préventif ciblé. Cela comprend également la diminution des temps d'arrêt de production par une nouvelle répartition des responsabilités entre la production et la maintenance.
- Maîtriser les coûts en optimisant le plan de maintenance préventive, en concentrant les efforts de prévention "au bon endroit et au bon moment", notamment en éliminant les tâches préventives jugées improductives.
- Mettre en œuvre une démarche structurée par une analyse systématique de chaque mode de défaillance, justifiant ainsi les décisions prises.

### II.3.4. Méthodologie de la MBF

Les diverses phases générales de l'approche méthodologique sont exposées dans la figure (II.9).

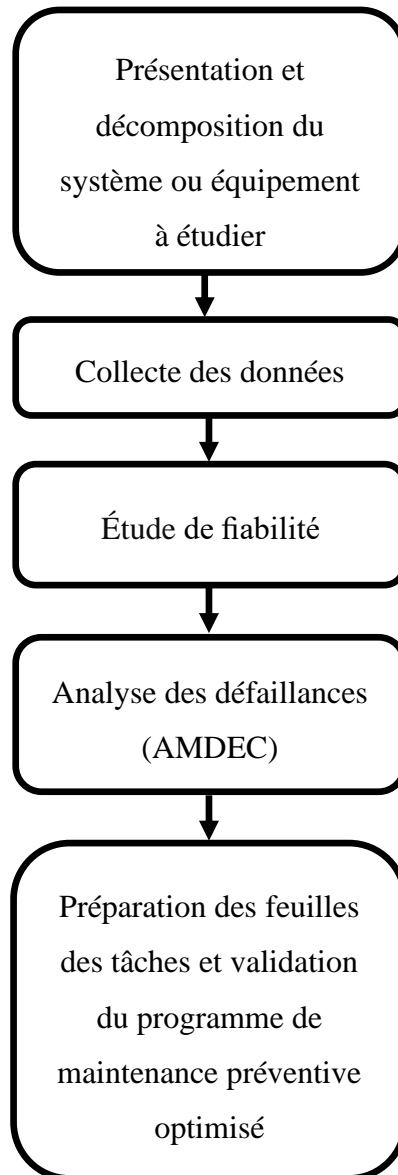


Figure II. 9 : Les étapes principales de la démarche MBF [15]

#### II.3.4.1. Présentation et décomposition du système ou équipement à étudier

Pour démarrer la méthode MBF, la première étape consiste à dessiner des schémas blocs pour représenter le système que nous voulons étudier. Imaginez cela comme un puzzle : chaque élément du puzzle est une partie du système. Nous examinons chaque élément pour comprendre comment elle fonctionne et ce qui pourrait mal tourner. Ensuite, nous les connectons ensemble avec des lignes pour montrer comment elles travaillent ensemble. Si un élément tombe en panne, cela

peut affecter tout le puzzle. Dans ce modèle, chaque élément est symbolisé par un bloc, et les relations entre les éléments sont représentées par des connexions. Les blocs sont associés en série lorsque la défaillance d'un seul élément entraîne la défaillance de l'ensemble du système. En revanche, une association en parallèle n'est défaillante que si tous ses éléments le sont également. En outre, d'autres configurations peuvent être envisagées pour modéliser des situations telles que la redondance où nous avons plusieurs pièces qui font la même chose pour que le système continue à fonctionner même si l'une d'entre elles échoue.

En résumé, cette étape nous aide à comprendre comment les pièces d'un système sont connectées et comment leurs pannes pourraient affecter le fonctionnement global.

### **II.3.4.2. Collecte des données**

La phase ultérieure implique rassembler des informations pour chaque machine du système. Ces données peuvent provenir d'un historique d'incidents ou de mesures de détérioration. Les états de la machine sont consignés depuis sa mise en service initiale, englobant des événements tels que le premier dysfonctionnement, les opérations de maintenance, la remise en service, l'arrêt pour inspection, la reprise d'activité, le deuxième dysfonctionnement, etc. Il peut parfois y avoir des lacunes dans l'historique (absence de données entre deux événements), et les approches utilisées doivent être capables de gérer ces données censurées, justifiant ainsi les choix effectués.

### **II.3.4.3. Étude de fiabilité**

L'estimation de la loi de fiabilité de l'équipement étudié peut-être réalisée selon trois approches distinctes, déterminées par le type de données disponibles. Ces données peuvent provenir de l'historique des défaillances, à savoir les temps écoulés entre deux pannes successives (modèles statistiques s'appuyant sur l'analyse des événements passés), ou des mesures de dégradation physique collectées progressivement avec une loi de dégradation connue (modèles physiques de défaillance), ou l'évolution de variables explicites de la dégradation (suivi d'indicateurs de dégradation).

Les méthodes d'estimation des lois de fiabilité à partir de ces données comprennent des approches de régression et des méthodes qui maximisent la probabilité.

Dans la première étape, on cherche à rendre linéaire la loi de fiabilité paramétrique à ajuster et à identifier les paramètres à l'aide d'une régression linéaire. Dans la seconde étape, l'objectif est d'estimer les paramètres de la loi de fiabilité qui maximisent la probabilité et de retrouver ainsi les temps de défaillance observés. Cette approche basée sur la fiabilité permet également de calculer la durée de vie résiduelle moyenne de l'équipement, soit l'espérance mathématique du temps de bon fonctionnement. Cette information s'avère cruciale pour élaborer une politique de maintenance appropriée.

#### **II.3.4.4. Analyse des défaillances**

Cette étape repose généralement sur une étude AMDEC. Après avoir mené une étude de fiabilité approfondie pour comprendre les possibles sources de défaillance d'un système, l'intégration de l'AMDEC dans cette démarche permet d'identifier les défaillances potentielles de l'équipement étudié. Elle vise également à évaluer l'impact de ces défaillances sur les performances ou la sécurité, en mettant particulièrement l'accent sur les composants les plus critiques. En conséquence, des priorités sont établies pour les actions de maintenance préventive.

#### **II.3.4.5. Optimisation de la maintenance**

Une fois que la fiabilité de chaque composant a été identifiée et que les éléments critiques du système ont été repérés, la dernière étape consiste à déterminer la périodicité optimale de la maintenance préventive. Pour ce faire, des données de maintenance sont nécessaires, y compris le type d'intervention, les cout fixes et variables associés à chaque type d'intervention, les couts indirects liés à la perte de production, la durée et la fréquence des intervention de maintenance, ainsi que le degré de réparation possible après chaque intervention. En tenant compte de ces facteurs, on peut planifier la maintenance de manière efficace pour éviter les pannes couteuses tout en minimisant les interruptions de production.

### Conclusion

En conclusion, le chapitre II a introduit la MBF, mettant l'accent sur la fiabilité, ses lois, et les outils d'aide à la décision et diagnostic. Ce chapitre marque une transition vers des pratiques de maintenance anticipatives, visant à maximiser la disponibilité tout en optimisant les ressources. En ouvrant la voie au chapitre III, où une étude de cas concrète approfondira ces concepts, pour traduire la théorie en action, jetant ainsi les bases d'une maintenance préventive véritablement efficace.



---

## **Chapitre III : Étude de cas : Essoreuse à sucre BMA (B1750R)**

---

## Introduction

Ce chapitre met l'accent sur l'optimisation de la maintenance, notamment préventive, en s'articulant sur une démarche de maintenance basée sur la fiabilité. Cette démarche s'appuie sur une étude de cas ayant comme objet une essoreuse à sucre, un équipement essentiel pour la production de cette matière première vitale. Pour ce faire, nous utiliserons divers outils techniques abordés dans les chapitres précédents. Nous commencerons par une analyse fonctionnelle et matérielle de ce système afin de comprendre son principe de fonctionnement et sa décomposition. Ensuite, nous réaliserons une analyse de fiabilité pour obtenir une vue d'ensemble de sa performance et de son comportement, complétée par une analyse dysfonctionnelle (AMDEC). En conséquence, nous élaborerons un plan de maintenance préventive pour structurer et optimiser les activités de maintenance, y compris leur périodicité. L'objectif est d'accroître la disponibilité de la machine tout en effectuant des interventions au moment opportun, ce qui permettra une meilleure gestion des ressources et une maintenance à la fois efficace et rentable. La figure III.1 illustre la démarche adoptée et l'enchaînement des analyses qui seront menées dans ce chapitre.

### III.1. Méthodologie :

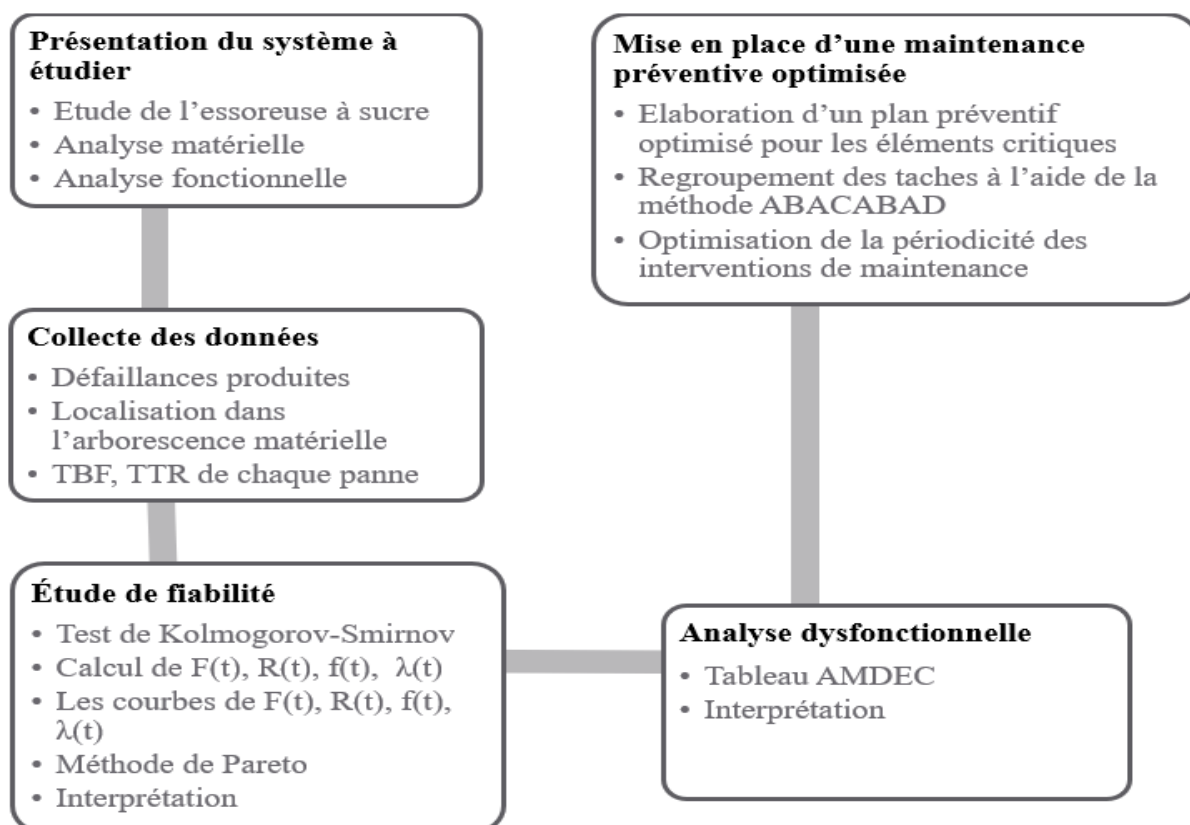


Figure III. 1 : La démarche de la méthode MBF pour élaborer un PMO

### III.2. Présentation du système à étudier : [16]

L'essoreuse à sucre appelée aussi turbine discontinue fonctionne en distribuant la masse cuite uniformément grâce à un plateau ajustable. Une fois la distribution terminée, elle accélère pour essorer le sucre. Ensuite, elle peut appliquer un rinçage au sirop ou à l'eau pour améliorer la qualité du sucre. Après le rinçage, elle freine et décharge le sucre du panier vers les éléments de manutention en aval. (Annexe A)

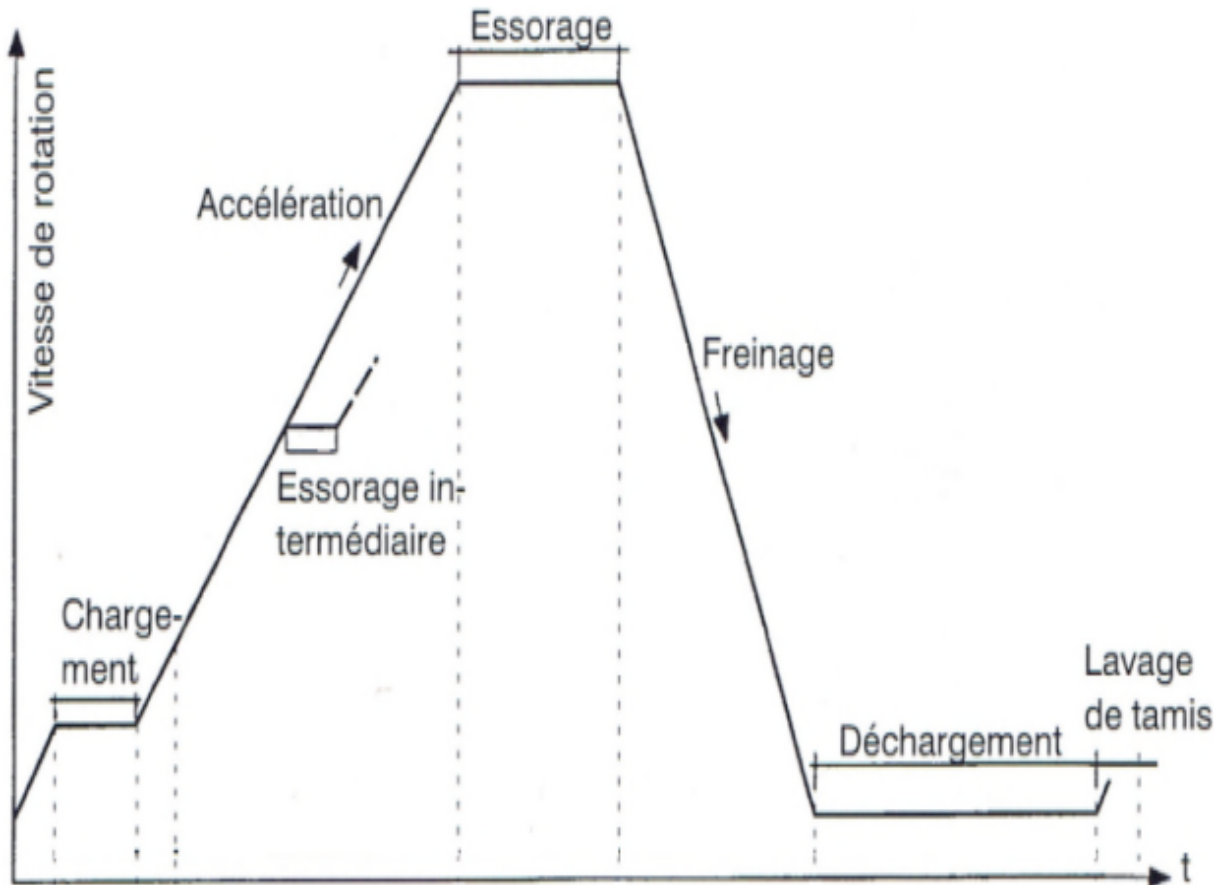


Figure III. 2 : Les séquences du déroulement du cycle [16]

➤ Les éléments constitutifs de la turbine discontinue :

La turbine intermittente de la marque BMA (B1750R) est principalement constituée de :

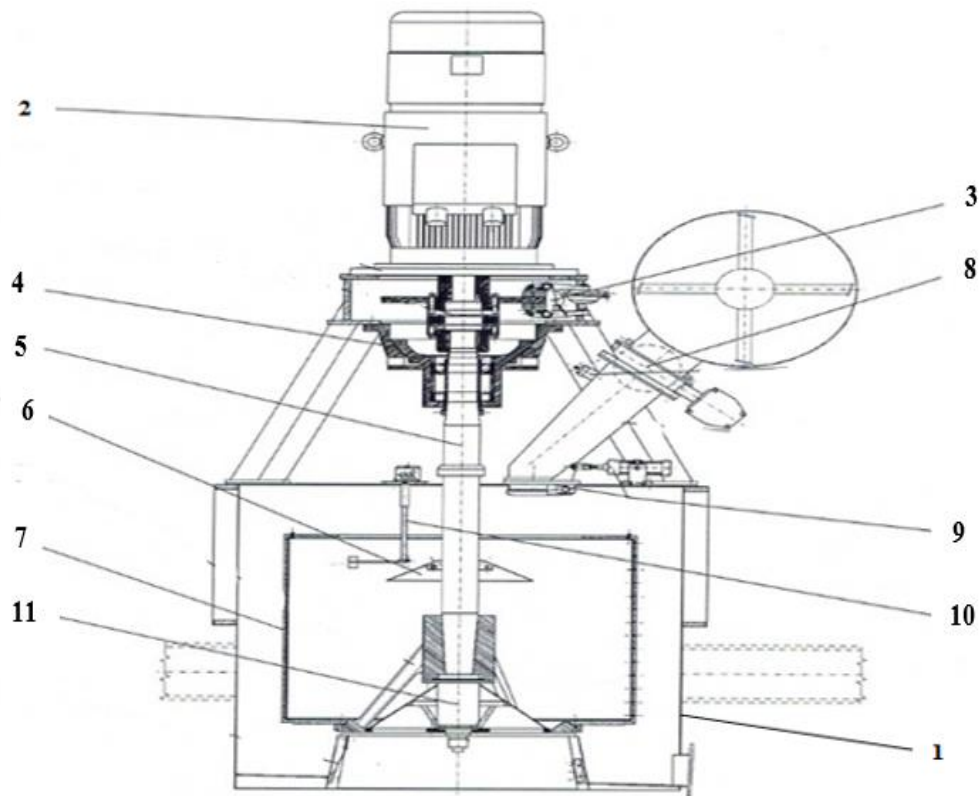


Figure III. 3 : Les éléments constitutifs de la turbine B1750R [16]

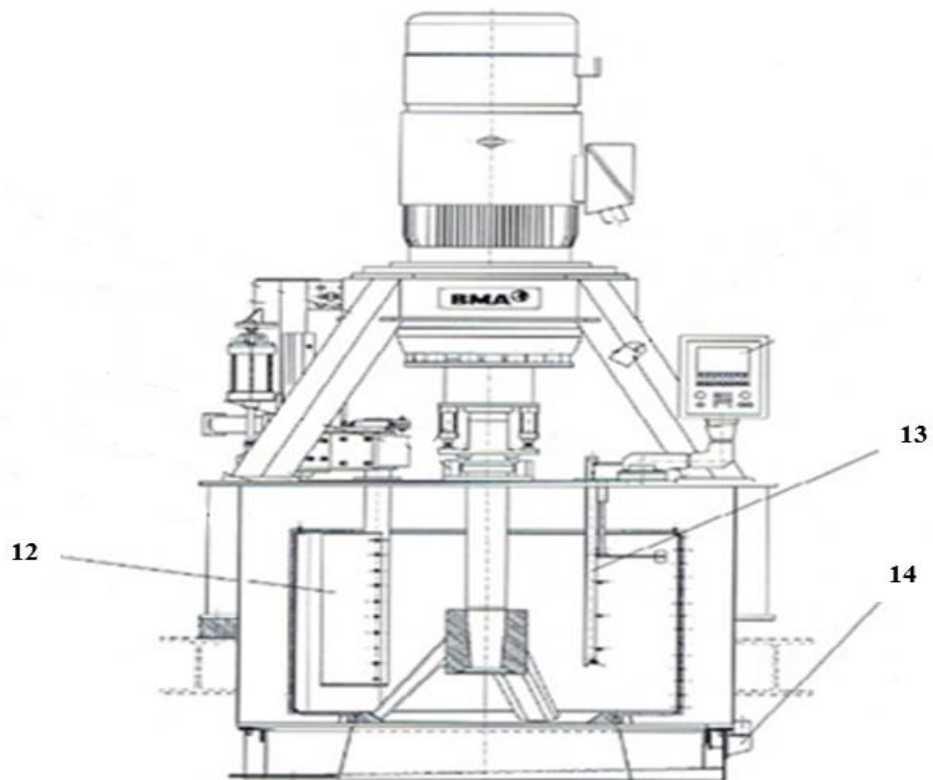


Figure III. 4 : Les éléments constitutifs de la turbine B1750R [16]

**Tableau III. 1 : Liste des sous-ensembles de l'essoreuse à sucre B1750R [16]**

Num	Désignation	Num	Désignation
1	Cuve	2	Moteur
3	Frein	4	Tête d'entraînement
5	Arbre	6	Plateau de distribution
7	Panier et tamis	8	Vanne de chargement
9	Clapet de sécurité	10	Palpeur de niveau
11	Clapet de décharge	12	Charrue de déchargement (Right)
13	Rampe de clairçage à l'eau	14	Dispositif de séparation des égouts

- La cuve

C'est la structure porteuse de l'essoreuse, fabriquée en acier inoxydable, avec recouvrements inférieur et supérieur.

- Le moteur

Fournit la puissance nécessaire pour faire tourner le panier à différentes vitesses selon les phases du cycle. Il est fixé au support de la centrifugeuse par une bague intermédiaire, qui est ensuite solidement fixée à la cuve.

- Le tamis

Le tamis retient la masse cuite et filtre les cristaux de sucre. Il est solidement attaché au panier rotatif, souvent avec des boulons, des vis, des serrages ou des emboîtements, selon les besoins d'entretien.

- Panier et arbre

Le panier est responsable de supporter les forces centrifuges et de faciliter le déchargement du produit essoré. Soudé en acier inoxydable de haute résistance. Son arbre entraîne sa rotation et transmet un couple moteur important.

- La tête d'entraînement

La tête d'entraînement avec deux roulements permettant une rotation fluide, et les ressorts en caoutchouc absorbent les chocs pour un fonctionnement stable et silencieux.

- Dispositif de chargement

Le dispositif de chargement comprend la vanne de chargement, le clapet de sécurité, la trémie de chargement et le palpeur de niveau, assurant la régulation automatique de la quantité de masse cuite alimentée.

- Le plateau de distribution

Dans l'essoreuse à sucre ce dernier est chargé de répartir de manière uniforme la masse de sucre dans le panier, ce qui favorise un essorage efficace.

- Dispositif de clairçage à l'eau

Permet de nettoyer le produit dans le panier en utilisant de l'eau, en éliminant les impuretés et en lavant les toiles.

- Séparateur des égouts

En principe, le dispositif de séparation des égouts est une vanne à siège qui contrôle l'ouverture et la fermeture du canal d'égout en fonction du réglage temporel approprié.

- Charrue de déchargement

Une fois que l'essoreuse a atteint une vitesse de sécurité, la charrue de déchargement facilite l'élimination des cristaux de sucre du panier en écartant la couche de sucre et en guidant les cristaux vers l'ouverture de déchargement.

- Clapet de décharge

Ce dernier assure le contrôle du flux des cristaux de sucre lors du processus de déchargement, en les retenant dans le panier pendant l'essorage et en les libérant une fois l'essorage terminé pour faciliter leur évacuation de l'essoreuse.

- Le frein

Pendant le fonctionnement cyclique, il agit comme un "frein d'urgence", s'activant grâce au régime générateur du moteur pour le freinage.

#### **A. Décomposition fonctionnelle de l'essoreuse à sucre**

La décomposition fonctionnelle du système analyse son fonctionnement global en identifiant les sous-systèmes nécessaires. Un diagramme fonctionnel clarifie les rôles des éléments et les relations entre sous-systèmes. **(Figure III. 5)**

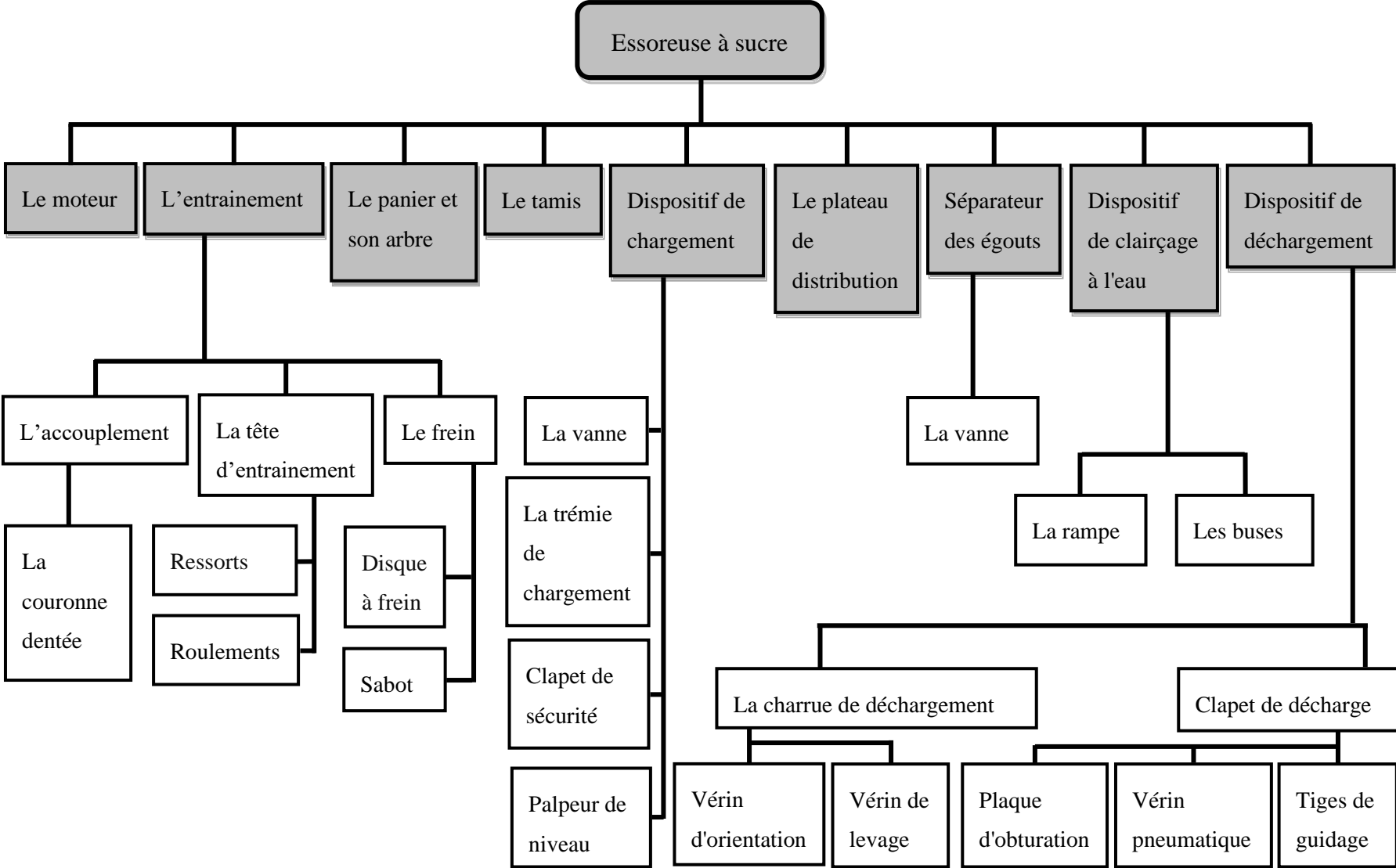


Figure III. 5 : Découpage fonctionnelle de l'essoreuse à sucre

## B. Analyse fonctionnelle

Il fournit une base solide pour comprendre le système et ses fonctions avant d'approfondir les aspects de fiabilité et de maintenance.

### a. Le diagramme Bête à corne

La méthode d'expression du besoin se base sur les trois questions suivantes :

Pour qui l'essoreuse rend-il service ?

Sur quoi l'essoreuse agit-il ?

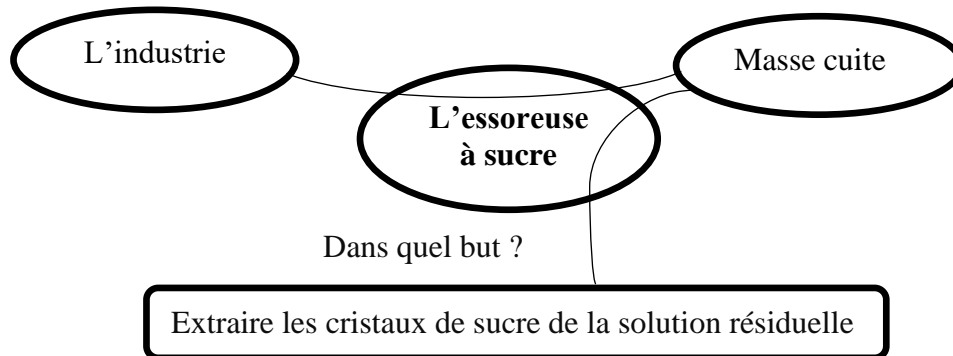


Figure III. 6 : Bête à corne de l'essoreuse à sucre

### b. Le diagramme SADT

Ce rectangle représente les activités ou les fonctions du système :

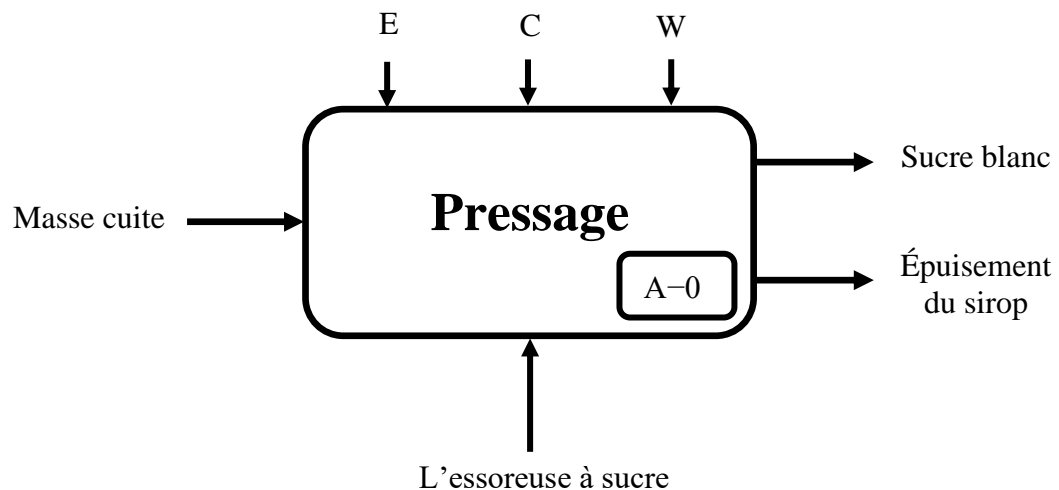


Figure III. 7 : Diagramme SADT de l'essoreuse à sucre

E : réglage.

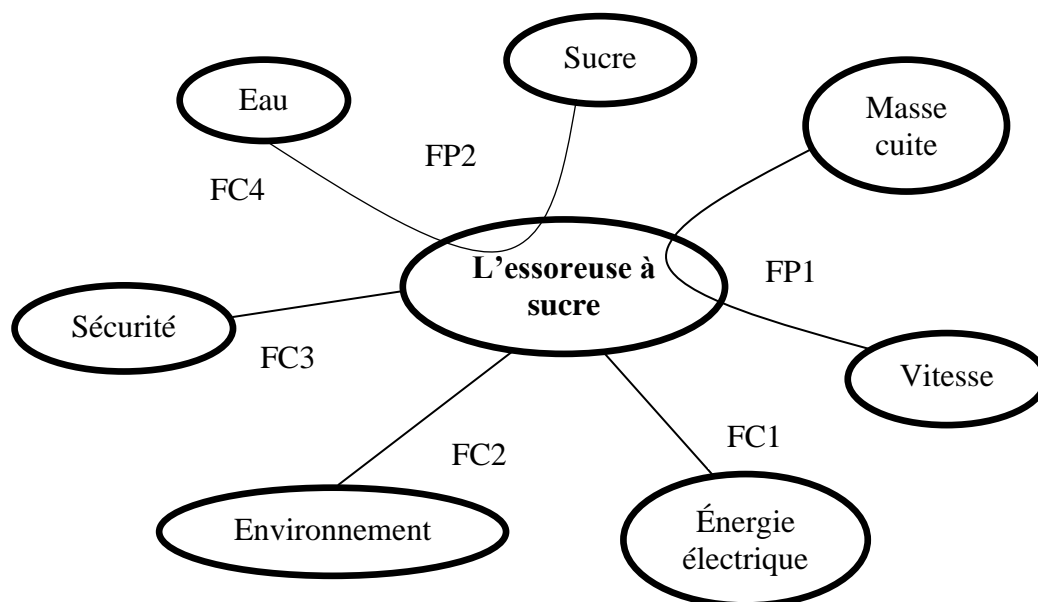
C : information sur le fonctionnement.

W : énergie électrique.



**c. Le diagramme pieuvre (externe)**

L'analyse fonctionnelle du besoin à travers le diagramme de pieuvre permet de définir les fonctions de service attendues et générées par l'utilisation du produit.



**Figure III. 8 :** Diagramme pieuvre de l'essoreuse à sucre

Les fonctions principales et les contraintes sont définies dans le Tableau III.2 :

**Tableau III. 2 :** Les fonctions principales et contraintes

Fonction	Description
FP1	Utiliser la force centrifuge produite par la rotation à grande vitesse de l'essoreuse à sucre pour essorer la masse cuite.
FP2	Affiner le sucre cristallisé en le traitant avec de l'eau.
FC1	Recevoir de l'électricité pour être alimenté en énergie.
FC2	Fonctionner dans des conditions de pression, d'humidité et de corrosion courantes.
FC3	Garantir la sécurité des individus.
FC4	Autoriser le tamis du panier à être nettoyé à la fin de chaque cycle.

d. Le diagramme FAST (interne)

Ce diagramme repose sur la question « comment ? » :

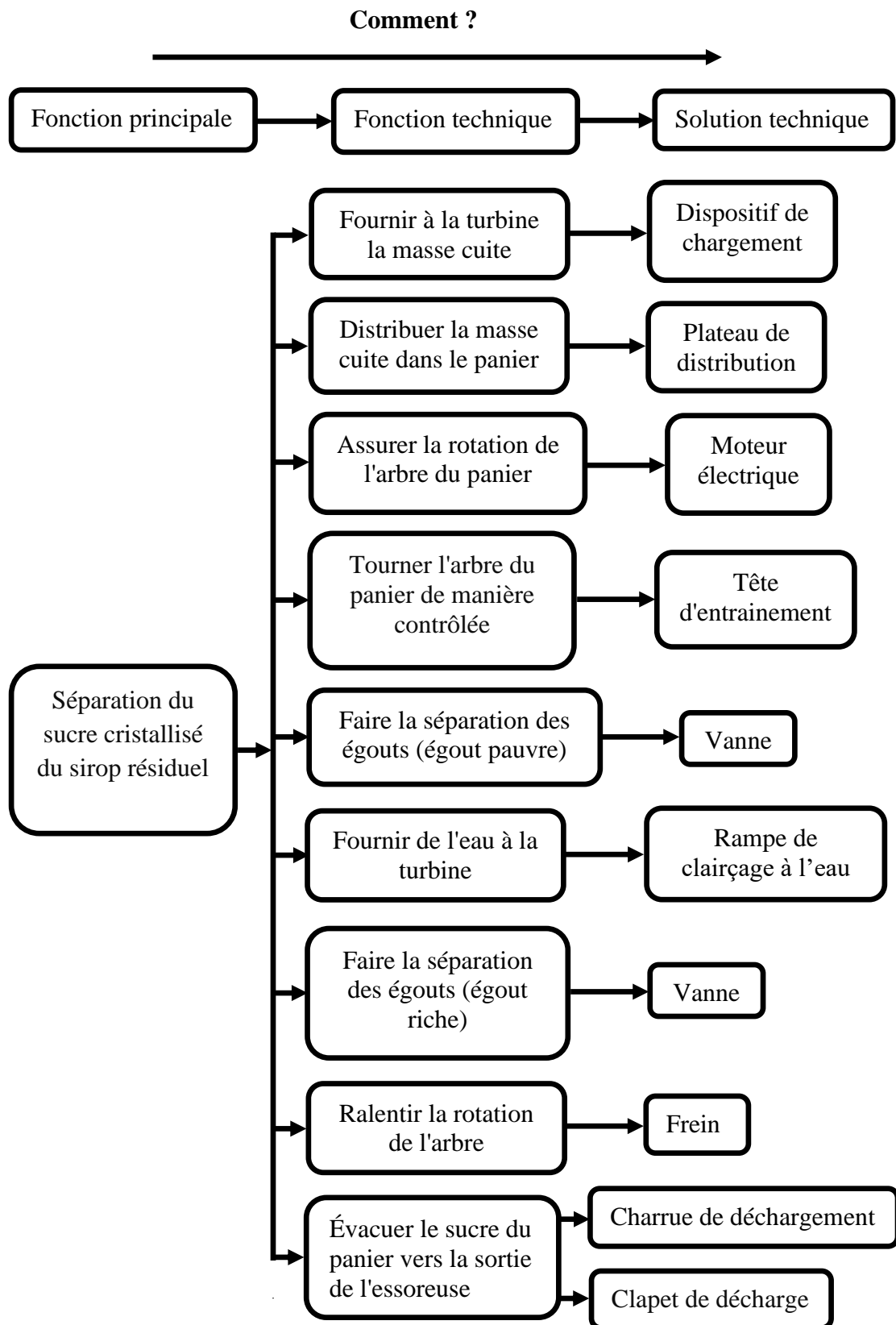


Figure III. 9 : Diagramme FAST de l'essoreuse à sucre

### III.3. Collecte des données : [17]

En utilisant les données historiques de l'essoreuse à sucre BMA (B1750R) pour les années 2016 et le début de 2017, nous avons extrait les TBF et TTR en heures, répertoriés dans le **Tableau III. 3** par ordre croissant. Ces données sont essentielles pour évaluer la fiabilité de l'équipement et réaliser une analyse AMDEC.

**Tableau III. 3** : Les données de défaillance de l'essoreuse à sucre [17]

Ordre (i)	TBF(h)	TTR(h)	Pannes et éléments
1	19	1	Usure du disque à frein (frein)
2	20	8,5	Fissuration de panier
3	20,8	2,5	Usure de brassard de la vanne (dispositif de chargement)
4	28,62	4,2	Isolation électrique fondue (moteur électrique)
5	32,2	4,4	Déformation du plateau de distribution
6	34,2	4	Usure de plaque d'obturation (Clapet de décharge)
7	40,8	4	Dommages aux roulements (charrue de déchargement)
8	46,51	4	Usure de vérin pneumatique (Clapet de décharge)
9	50,75	0,5	Usure de brassard de la vanne (dispositif de chargement)
10	69,5	3,5	Usure des buses de la rampe de clairçage à l'eau
11	73,8	4	Usure de vérin pneumatique (Clapet de décharge)
12	79,26	4,3	Dommages aux roulements (charrue de déchargement)
13	88,43	4,5	Déformation du plateau de distribution
14	99,21	4,4	Usure de la manchette de vanne (séparateur des égouts)

15	110,13	4,3	Usure des roulements (moteur électrique)
16	115,51	4	Usure de plaque d'obturation (Clapet de décharge)
17	126,98	4	Dommages aux ressorts (tête d'entraînement)
18	138,72	0,5	Usure (la rampe de clairçage à l'eau)
19	141,09	4,2	Déformation des tiges de guidage (Clapet de décharge)
20	176,59	4	Usure (séparateur des égouts)
21	187,63	4,1	Usure (Clapet de décharge)
22	199,34	4,5	Déformation du plateau de distribution
23	210,43	4,4	Détérioration de l'arbre du panier
24	229,6	2,5	Usure du sabot (frein)
25	233,77	4	Usure (Clapet de décharge)
26	244,26	4	Usure (séparateur des égouts)
27	252,1	4,06	Déformation des tiges de guidage (Clapet de décharge)
28	276,5	4,5	Détérioration de l'arbre de panier
29	306,22	4	Usure (Clapet de décharge)
30	323,7	4,4	Usure des roulements (tête d'entraînement)
31	406,6	4	Usure de vérin pneumatique (Clapet de décharge)
32	432,13	4,2	Usure de l'arbre (moteur électrique)
33	470,01	4	Usure de plaque d'obturation (Clapet de décharge)
34	480,94	4,4	Détérioration de l'arbre de panier

35	510	4,1	Usure (Clapet de décharge)
36	596,55	4	Déformation de la charrue de déchargement
37	605	4,2	Déformation des tiges de guidage (Clapet de décharge)
38	687,76	4,4	Usure des roulements (tête d'entraînement)

### III.4. Étude de fiabilité :

L'étude de fiabilité est essentielle pour comprendre comment un système peut échouer. En la réalisant avant l'analyse AMDEC, on peut évaluer plus précisément l'impact des modes de défaillance, ce qui facilite une planification de maintenance plus efficace.

En se référant au **Tableau III. 3** et en utilisant la distribution de Weibull via le logiciel "*Minitab Statistical Software*" (voir Annexe B), nous pouvons estimer les paramètres de la loi de Weibull en appliquant la méthode du maximum de vraisemblance. L'examen du graphique de Weibull révèle un quasi-alignement des points, suggérant que le paramètre de position est nul ( $\gamma = 0$ ), tandis que les valeurs des paramètres d'échelle ( $\eta = 225,86$  heures) et de forme ( $\beta = 1,15$ ) peuvent être déduites.

- Calcule de l'espérance : (Annexe C)

$$MTBF = E(t) = A * \eta = 0,9517 * 225,86 = 214,95 \text{ heures.} \quad (\text{II. 33})$$

**Tableau III. 4 : Les paramètres de la loi weibul**

$\gamma$	B	$\eta$	A	B	MTBF
0	1,15	225,86	0,9517	0,830	214,95 h

#### A. Test de Kolmogorov-Smirnov

Avant de valider toutes les lois de fiabilité, il est nécessaire de tester l'hypothèse afin de déterminer si le modèle proposé doit être accepté ou rejeté en utilisant le test de Kolmogorov-Smirnov avec un seuil de confiance de  $\alpha = 0,05$  (c'est-à-dire la marge d'erreur acceptable est de 5%).

Ce test a pour but de comparer la fonction de répartition réelle des défaillances **F(ti)** (obtenue par la méthode des rangs moyens(II. 20)) avec la fonction de répartition

théorique  $Fe(ti)$  (II. 24), et prendre le maximum en valeur absolue  $Dn.max$ . Cette valeur est ensuite comparée à  $Dn.\alpha$ , qui est fournie par la table de Kolmogorov-Smirnov (voir annexe D). Si  $Dn.max > Dn.\alpha$ , l'hypothèse est rejetée. Où :

$$D_{ni} = |Fe(ti) - F(ti)|$$
**Tableau III. 5 : Test de kolmogrov-smirnov**

Ordre (i)	TBF(h)	Fe (ti)	F (ti)	D <sub>ni</sub>
1	19	0,0564	0,0256	0,0308
2	20	0,0597	0,0512	0,0085
3	20,8	0,0624	0,0769	- 0,0145
4	28,62	0,0888	0,1025	- 0,0137
5	32,2	0,101	0,1282	- 0,0272
6	34,2	0,1079	0,1538	- 0,0459
7	40,8	0,1305	0,1794	- 0,0489
8	46,51	0,15	0,2051	- 0,0551
9	50,75	0,1645	0,2307	- 0,0662
10	69,5	0,2273	0,2564	- 0,0291
11	73,8	0,2414	0,2820	- 0,0406
12	79,26	0,2592	0,3076	- 0,0484
13	88,43	0,2884	0,3333	- 0,0449
14	99,21	0,3218	0,3589	- 0,0371
15	110,13	0,3546	0,3846	- 0,0282
16	115,51	0,3703	0,4102	- 0,0390

**Chapitre III : Étude de cas : Essoreuse à sucre BMA (B1750R).**

17	126,98	0,403	0,4358	- 0,0328
18	138,72	0,435	0,4615	- 0,0265
19	141,09	0,4413	0,4871	- 0,0458
20	176,59	0,5293	0,5128	0,0165
21	187,63	0,5543	0,5384	0,0159
22	199,34	0,5795	0,5641	0,0154
23	210,43	0,6023	0,5890	0,0133
24	229,6	0,6391	0,6153	0,0238
25	233,77	0,6467	0,6410	0,0057
26	244,26	0,6653	0,6666	- 0,0013
27	252,1	0,6785	0,6923	- 0,0138
28	276,5	0,7169	0,7179	- 0,0010
29	306,22	0,7581	0,7435	- 0,0111
30	323,7	0,7797	0,7692	0,0105
31	406,6	0,8601	0,7948	0,0653
32	432,13	0,8787	0,8205	0,0582
33	470,01	0,902	0,8461	0,0559
34	480,94	0,908	0,8717	0,0363
35	510	0,9221	0,8974	0,0247
36	596,55	0,9529	0,9230	0,0299
37	605	0,9552	0,9487	0,0065

38	687,76	0,9727	0,9743	- 0,0016
----	--------	--------	--------	----------

D'après le **Tableau III. 5** :

La fréquence maximale  $D_{n,max}$  est de  $|- 0,0662|= 0,0662$ .

Selon la table de Kolmogorov-Smirnov (Annexe D) avec  $N = 38$  et  $\alpha = 0,05$ , on obtient  $D_{N,\alpha} = D_{38,0,05} = 0,2206$ . Ainsi,  $D_{n,max} < D_{N,\alpha}$ , soit  $0,0662 < 0,223$ .

Par conséquent, le modèle de Weibull est accepté.

### **B. Calculs de la fiabilité, fonction de défaillance, la densité probabilité et le taux de défaillance**

En utilisant le logiciel Excel et en se référant aux équations du chapitre précédent **(II. 22)**, **(II. 23)**, **(II. 24)** et **(II. 25)**, de la loi de Weibull, nous pouvons dessiner nos propres courbes pour une durée de TBF= 900 heures.

**Tableau III. 6** : Calculs de La fiabilité et la fonction de répartition, du taux de défaillance et de la densité de probabilité

Ordre (i)	TBF(h)	R(t)	Fe (ti)	f(t)	$\lambda(t)$
1	19	0,9436	0,0564	0,00331	0,00351
2	20	0,9403	0,0597	0,00332	0,00354
3	20,8	0,9376	0,0624	0,00333	0,00356
4	28,62	0,9112	0,0888	0,0034	0,0037
5	32,2	0,899	0,101	0,00341	0,0038
6	34,2	0,8921	0,1079	0,00342	0,00384
7	40,8	0,8695	0,1305	0,003425	0,0039
8	46,51	0,85	0,15	0,003414	0,004
9	50,75	0,8355	0,1645	0,0034	0,0041
10	69,5	0,7727	0,2273	0,0033	0,0042

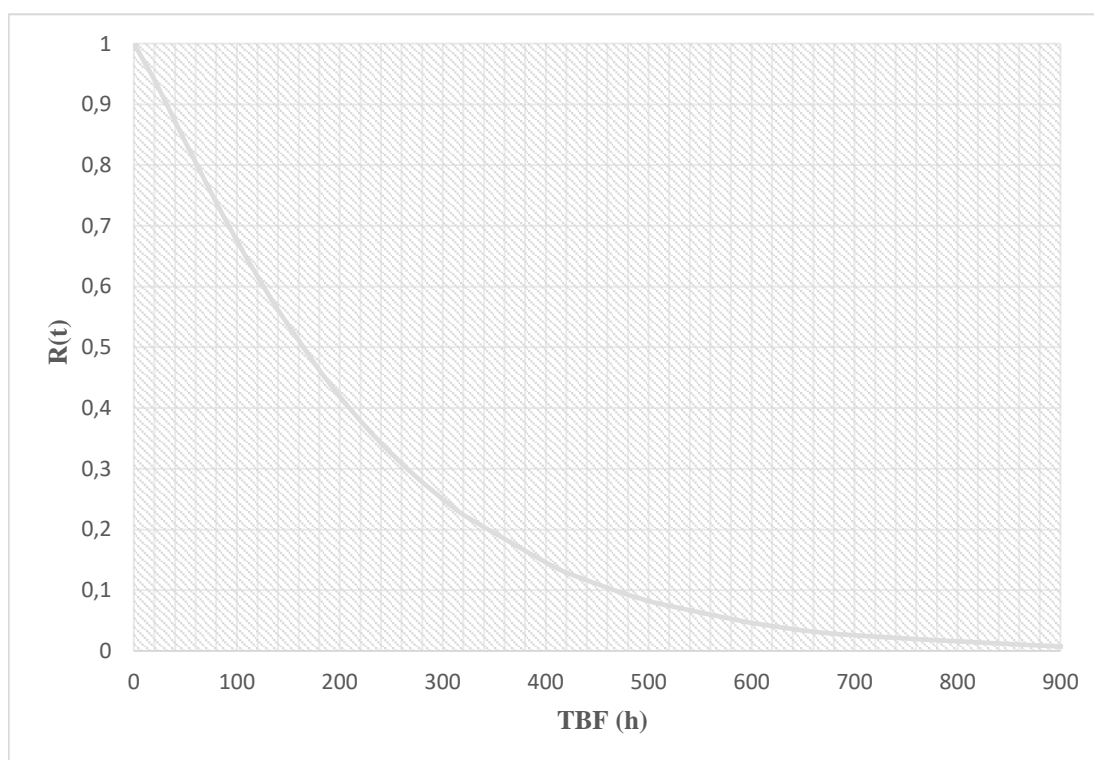


**Chapitre III : Étude de cas : Essoreuse à sucre BMA (B1750R).**

11	73,8	0,7586	0,2414	0,00326	0,0043
12	79,26	0,7408	0,2592	0,00322	0,00435
13	88,43	0,7116	0,2884	0,0031	0,0044
14	99,21	0,6782	0,3218	0,003	0,0045
15	110,13	0,6454	0,3546	0,0029	0,00457
16	115,51	0,6297	0,3703	0,0028	0,0046
17	126,98	0,597	0,403	0,0027	0,00467
18	138,72	0,565	0,435	0,00267	0,0047
19	141,09	0,5587	0,4413	0,0026	0,00474
20	176,59	0,4707	0,5293	0,0023	0,0049
21	187,63	0,4457	0,5543	0,0022	0,00495
22	199,34	0,4205	0,5795	0,0021	0,00499
23	210,43	0,3977	0,6023	0,002	0,005
24	229,6	0,3609	0,6391	0,00184	0,0051
25	233,77	0,3533	0,6467	0,0018	0,00512
26	244,26	0,3347	0,6653	0,0017	0,00515
27	252,1	0,3215	0,6785	0,0016	0,00517
28	276,5	0,2831	0,7169	0,0014	0,0052
29	306,22	0,2419	0,7581	0,0012	0,0053
30	323,7	0,2203	0,7797	0,0011	0,0054
31	406,6	0,1399	0,8601	0,0007	0,0055

32	432,13	0,1213	0,8787	0,0006	0,0056
33	470,01	0,098	0,902	0,00055	0,00568
34	480,94	0,092	0,908	0,0005	0,0057
35	510	0,0779	0,9221	0,0004	0,00575
36	596,55	0,0471	0,9529	0,00027	0,0058
37	605	0,0448	0,9552	0,0002	0,0059
38	687,76	0,0273	0,9727	0,0001	0,006

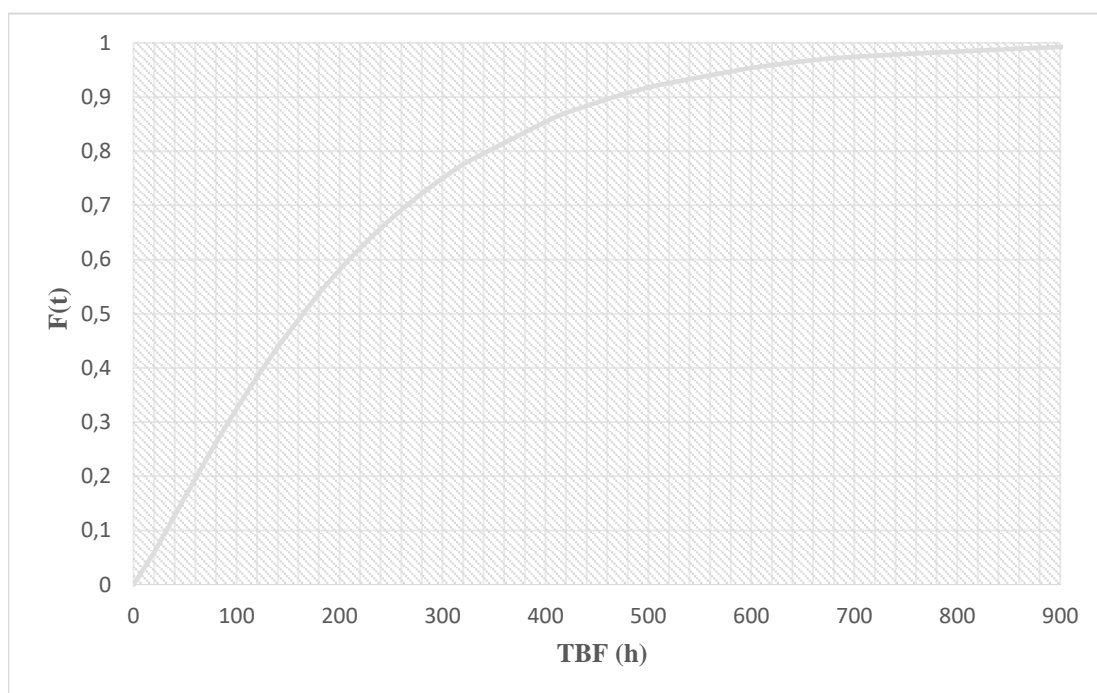
**C. La courbe de la fonction fiabilité**



**Figure III. 10 :** La fonction de fiabilité  $R(t)$

La courbe de la fonction de fiabilité  $R(t)$  par rapport au TBF, présentée dans figure (III.10), démontre une relation inverse entre la fiabilité et le temps, soulignant ainsi que la fiabilité diminue à mesure que le temps avance.

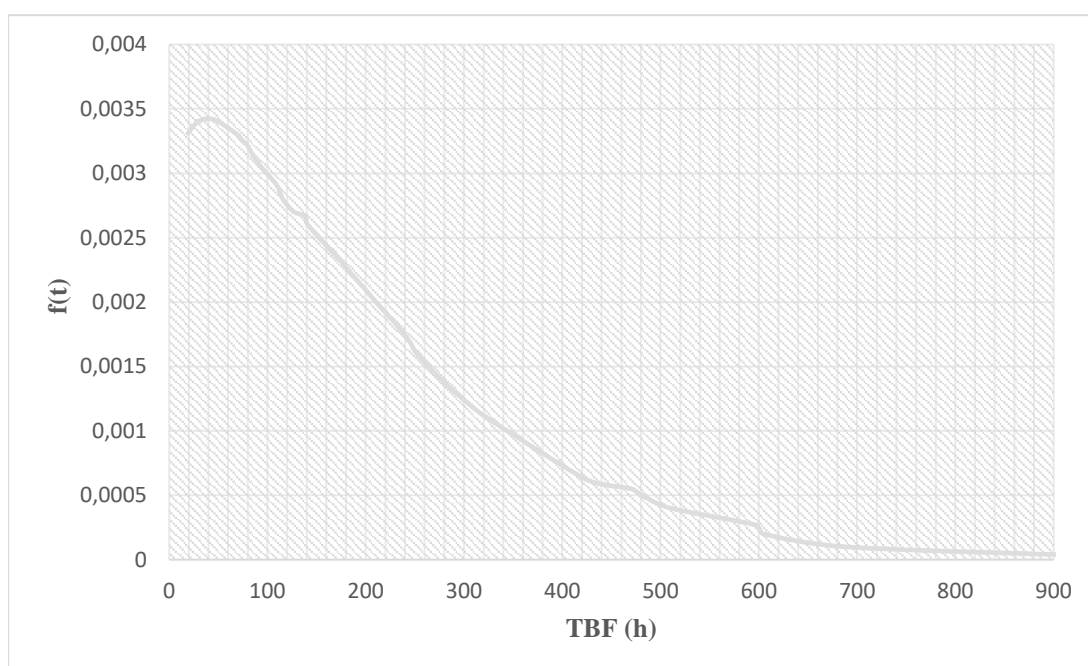
**D. La courbe de la fonction de répartition  $F(t)$**



**Figure III. 11 :** La fonction de répartition  $F(t)$

D'après la figure (III.11), la fonction de répartition  $F(t)$  montre une augmentation proportionnelle au TBF, indiquant ainsi que la fonction de répartition croît à mesure que le TBF augmente.

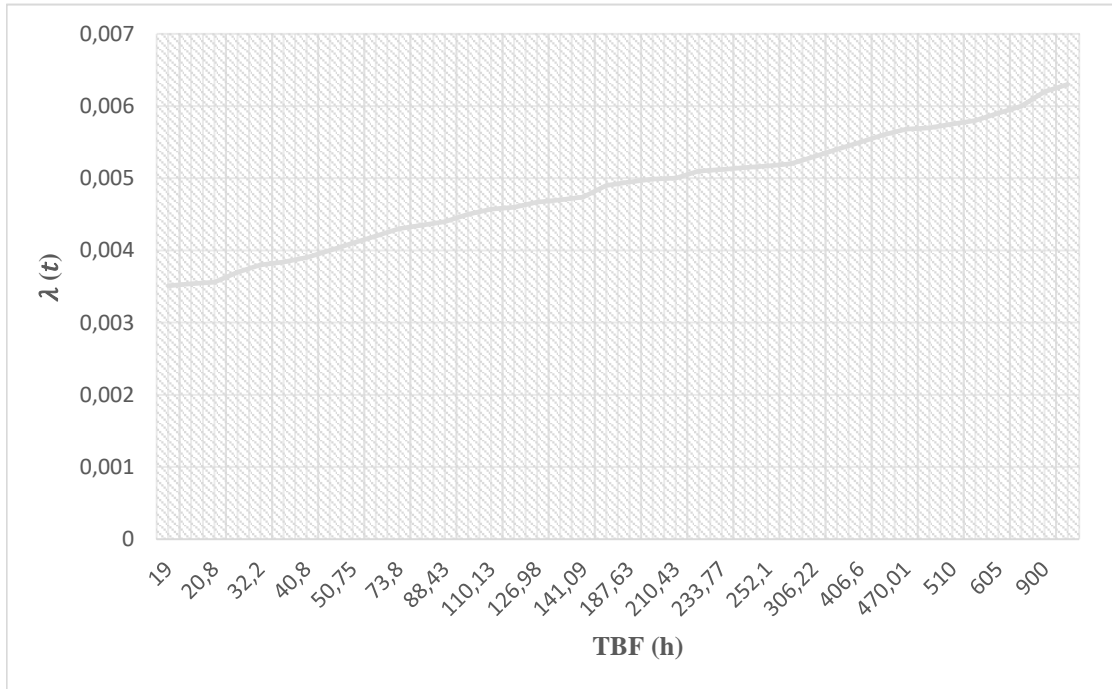
**E. La courbe de densité de probabilité  $f(t)$**



**Figure III. 12 :** Densité de probabilité  $f(t)$

La figure (III.12) illustre la variation de la densité de probabilité  $f(t)$  en fonction du (TBF).

**F. La courbe de taux de défaillance  $\lambda(t)$**



**Figure III. 13 : Taux de défaillance  $\lambda(t)$**

La figure (III.13) met en évidence la relation proportionnelle entre le taux de défaillance  $\lambda(t)$  et le (TBF).

**G. Interprétation des résultats**

✓  $R(t)$  et MTBF

En analysant les calculs et la courbe de la fonction de fiabilité  $R(t)$ , nous avons observé une relation inverse entre la fiabilité et le temps.

$R(t = \text{MTBF}) = 38,88\%$ , indiquant que l'essoreuse à sucre a une probabilité de survie de 38,88% sur 100, ce qui implique qu'il y a 61,12% de chances qu'elle tombe en panne avant le MTBF.

$$R(t=\text{MTBF}) = \left( e^{-\frac{\text{MTBF}}{\eta}} \right)^\beta \tag{II. 34}$$

$$R(t=\text{MTBF}) = \left( e^{-\frac{214,95}{225,86}} \right)^{1,15} \tag{II. 35}$$

$$R(t=\text{MTBF}) = 0,3888 = 38,88 \% \tag{II. 36}$$

Ceci peut être attribué à plusieurs facteurs, notamment :

- La négligence des consignes d'exploitation recommandées par le fabricant.
- Une planification défailante des maintenances préventives.
- La détérioration des composants.

✓  $F(t)$

La fonction de répartition montre une relation inverse avec la fiabilité, signalant ainsi une mauvaise gestion de l'exploitation et de la maintenance de cette essoreuse à sucre. Cela souligne la nécessité de revoir notre politique de maintenance et de sensibiliser les opérateurs à respecter scrupuleusement les consignes d'exploitation.

✓  $f(t)$

Cette fonction est précieuse pour appréhender la distribution des pannes et des réparations par rapport à la durée de vie moyenne d'un équipement. Notre analyse a révélé qu'après 40 heures de l'intervalle de temps entre les pannes (TBF) étudié jusqu'à présent, il y a eu une diminution progressive de la densité des pannes. Cette tendance suggère une stabilisation de la performance de l'équipement. En d'autres termes, les pannes se font moins fréquentes avec le temps, ce qui peut être attribué à l'expérience accumulée par les équipes de maintenance.

✓  $\lambda(t)$

Malgré la diminution observée dans la courbe de densité de probabilité, le taux de défaillance augmente avec le temps, ce phénomène étant attribuable aux problèmes liés à la durée de vie de l'équipement. Cela signifie que les composants du système commencent à se dégrader. De plus, étant donné que  $\beta$  est supérieur à 1, nous pouvons conclure que l'essoreuse à sucre se situe dans la phase de vieillissement de la courbe de bain.

## **H. Diagramme de PARETO**

La courbe "ABC" a été utilisée à l'aide de **Tableau III. 3** pour trier l'essoreuse à sucre en trois catégories distinctes (A, B et C). Les résultats de cette classification nous indiquent qu'il est nécessaire d'adopter une approche de suivi particulière pour les éléments de la catégorie "A".

Tableau III. 7 : L'analyse ABC (Pareto)

Les éléments	Nombre de panne	Cumule de pannes	% des pannes cumulées	TTR(h)	Cumule des TTR	% cumule des TTR
Clapet de décharge	13	13	34,21	52,66	52,66	35,54
Plateau de distribution	3	16	42,11	13,4	66,06	44,6
Arbre de panier	3	19	50	13,3	79,36	53,6
Moteur électrique	3	22	57,9	12,7	92,06	62,14
Tête d'entraînement	3	25	65,8	12,4	104,46	70,5
Séparateur des égouts	3	28	73,7	12,4	116,86	78,9
Charrue de déchargement	3	31	81,6	12,3	129,16	87,2
Panier	1	32	84,21	8,5	137,66	92,91
Dispositif de clairçage l'eau	2	34	89,5	4	141,66	95,61
Frein	2	36	94,74	3,5	145,16	97,98
Dispositif de chargement	2	38	100	3	148,16	100

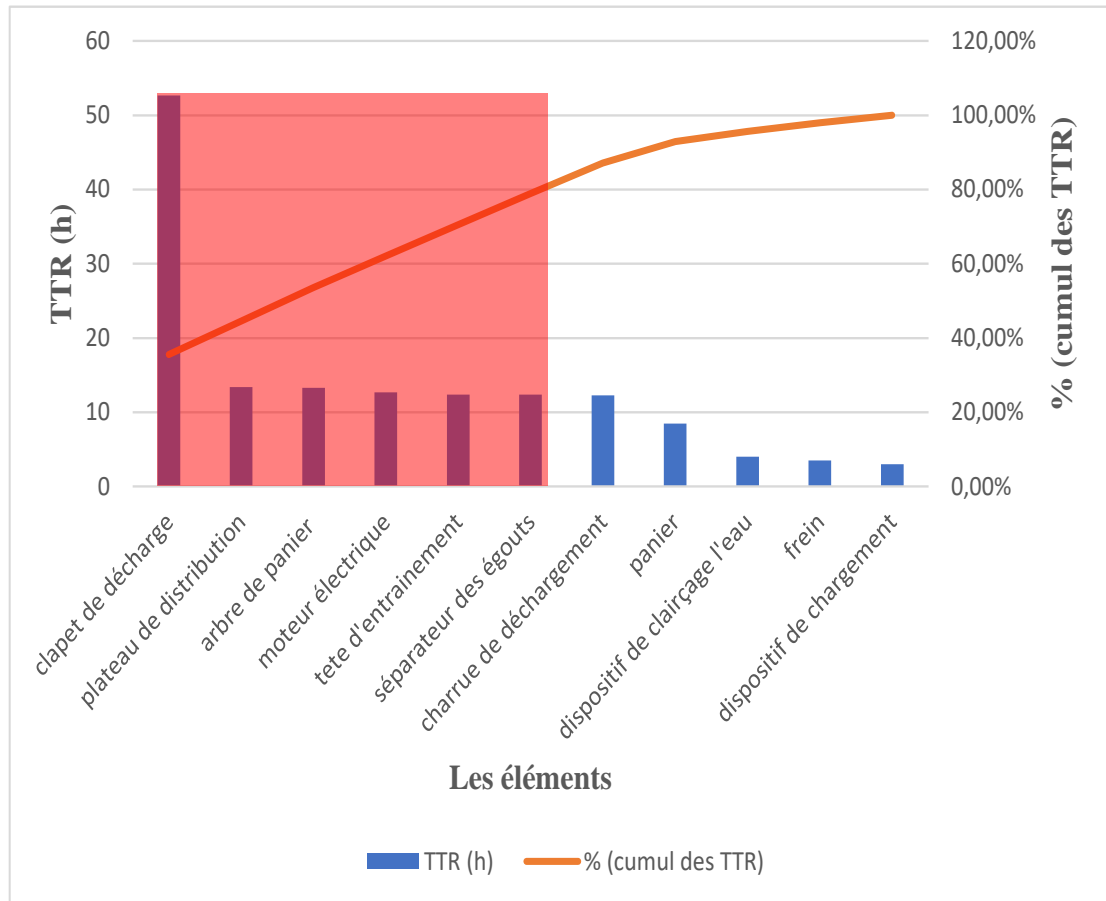


Figure III. 14 : Histogramme fiabilité et courbe ABC

### Interprétation des résultats

Dans la **zone A**, où se trouvent des éléments tels que le clapet de décharge, le plateau de distribution, l'arbre de panier, le moteur électrique, la tête d'entraînement et le séparateur des égouts, nous observons que 73,7% des éléments sont responsables de 78,9% des temps d'arrêt. Cela souligne l'importance d'accorder une attention particulière à cette zone.

Ensuite, dans la **zone B**, qui comprend des éléments comme la charrue de déchargement, le panier et le dispositif de clairçage de l'eau, nous constatons que 15,8% des éléments génèrent 16,71% des temps d'arrêt.

Enfin, dans la **zone C**, comprenant des éléments tels que le frein et le dispositif de chargement, bien que représentant 10,5% des éléments, ils ne sont responsables que de 4,39% des temps d'arrêt.

### **III.5. Analyse AMDEC :**

En référence aux **Tableau II. 1**, **Tableau II. 2**, **Tableau II. 3** et **Tableau II. 4** du chapitre précédent qui traitent de la méthode AMDEC, ainsi qu'aux données du **Tableau III. 3**, nous proposons une approche méthodique pour passer de l'étude de fiabilité du système à l'analyse de ses dysfonctionnements associés. Le tableau AMDEC ci-dessous répertorie les composants de l'essoreuse à sucre BMA (B1750R), avec leurs fonctions, modes de défaillance, causes de défaillance, effets, et niveaux de criticité correspondants.



Tableau III. 8 : Table AMDEC de l'essoreuse à sucre

NOM: CHERIFI		Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et de leurs Criticités								
Système: Essoreuse à sucre			DATE :10/05/24							
L'élément	Fonction	Modes de défaillance	Cause	Effet	Détection	Criticité				Actions
						F	G	D	C	
<b>Moteur électrique</b>	Assurer la rotation de l'arbre de panier	Enroulements brûlés	Surintensité	Arrêt du moteur, cessation de l'essoreuse	Thermomètre (Surveillance de la température)	2	3	2	12	• Ré-enroulement du moteur
			Court-circuit							
		Usure de l'arbre de moteur	Désalignement		Inspection visuelle Contrôle du bruit et vibration	2	3	3	18	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vérification régulière de l'arbre</li> <li>• Rectification de la surface de roulement</li> <li>• Remplacement des roulements</li> </ul>
Usure des roulements	Épuisement de la durée d'utilisation									
<b>Arbre de panier</b>	Transférer le couple du moteur vers le panier	Détérioration de l'arbre	Déséquilibre de l'arbre	Arrêt de l'essoreuse	Inspection visuelle Contrôle du bruit et vibration	2	3	3	18	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vérification régulière de l'arbre</li> <li>• Remplacement de l'arbre</li> </ul>

Chapitre III : Étude de cas : Essoreuse à sucre BMA (B1750R).

Tête d'entraînement	Tourner l'arbre du panier de manière contrôlée	Dommages aux ressorts	Vibration	Dégradation des roulements Immobilisation de l'arbre	Inspection visuelle évaluation et contrôle du bruit	2	3	3	18	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contrôle régulier des ressorts, le remplacement si nécessaire</li> <li>• Un contrôle systématique des roulements et un graissage approprié</li> </ul>
		Usure des roulement	Vibrations	Immobilisation de l'arbre du panier. Cessation de l'activité de l'essoreuse.						
			Une durée de vie écoulée							
		Un manque de graissage adéquate								
Accouplement	Transférer la puissance entre l'arbre moteur et l'arbre du panier	La rupture de dents (Dommages à la couronne dentée)	La fatigue (Surcharge excessive)	Blocage de l'arbre du panier	Contrôle	2	3	2	12	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Remplacement complet de la couronne endommagée.</li> </ul>

**Chapitre III : Étude de cas : Essoreuse à sucre BMA (B1750R).**

Dispositif de chargement	Fournir de la masse cuite à l'essoreuse	Usure de la manchette de la vanne	La fatigue	Fuite de la masse cuite cuite	Contrôle	2	2	2	8	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Remplacer le brassard de la vanne</li> <li>• Nettoyage de la trémie de chargement</li> </ul>
		Blocage de la trémie de chargement	Adhérence de la masse cuite dans la trémie de chargement	Alimentation insuffisante de la masse cuite	Inspection visuelle					
<b>Plateau de distribution</b>	Répartir uniformément la masse cuite sur le tamis du panier	Déformation du plateau	Surcharge	Mauvaise distribution de la masse cuite	Inspection visuelle	2	3	3	<b>18</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contrôle régulier du plateau</li> <li>• Remplacer le plateau déformé</li> </ul>
Panier	Évacuer les égouts	Formation de fissures dans le panier	Des chocs	Fuite du sucre	Contrôle	1	3	2	6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Remplacer le panier défectueux</li> </ul>
Tamis	Cribler les cristaux de sucre.	Fissuration du tamis	Des chocs	Fuite de sucre	Contrôle	2	2	2	8	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Remplacement du tamis</li> </ul>

**Chapitre III : Étude de cas : Essoreuse à sucre BMA (B1750R).**

Dispositif de clairçage à l'eau	Nettoyer les cristaux de sucre	Usure des buses	La fatigue	Une mauvaise qualité de clairçage	Contrôle visuel sur le produit final	2	2	2	8	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Remplacement des buses défectueuses</li> <li>• Remplacement de la rampe défectueuse</li> </ul>
		Déformation de la rampe	Des chocs							
<b>Séparateur des égouts</b>	Contrôle l'ouverture et la fermeture du canal d'égout	Usure de la manchette de vanne	La fatigue	Fuite de l'égout	Inspection visuelle	2	3	3	<b>18</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contrôle et le remplacement de la manchette défectueuse</li> </ul>
Frein	Ralentir ou freiner la rotation de l'arbre moteur	Usure du disque à frein, du sabot	Frottement	L'efficacité du freinage diminue.	Contrôle	2	2	2	8	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Remplacement du sabot, du disque à frein</li> </ul>
<b>Charrue de déchargement</b>	Éliminer les cristaux de sucre vers l'ouverture de déchargement	Déformation de la charrue	Des chocs	L'arrêt de la charrue	Inspection visuelle	2	3	3	<b>18</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contrôler la charrue et à la redresser ou la remplacer si nécessaire</li> <li>• Remplacement des roulements</li> <li>• Remplacement du vérin</li> </ul>
		Dommages aux roulements			Contrôle du bruit					
		Usure des deux vérins (levage, orientation)	Frottement		Inspection visuelle					

**Chapitre III : Étude de cas : Essoreuse à sucre BMA (B1750R).**

<b>Clapet de décharge</b>	Evacuer le sucre du panier	Usure de plaque d'obturation	Frottement	Mauvais fonctionnement (évacuation)	Inspection visuelle	3	3	3	<b>27</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contrôle régulier du clapet</li> <li>• Remplacement des pièces usées (plaque d'obturation pochette de joint du vérin, le vérin lui-même )</li> </ul>
		Usure de vérin pneumatique		Fuites d'air						
		Déformation des tiges de guidage	Des chocs	Arrêt de déchargement						

### **A. Interprétation**

L'analyse AMDEC indique que cinq éléments de l'essoreuse, avec une criticité inférieure à 10, n'exigent pas de suivi particulier et peuvent être gérés par une maintenance corrective. Pour les composants à criticité moyenne (10-18), une maintenance préventive moins fréquente est recommandée. En revanche, les composants critiques comme l'arbre de panier, la tête d'entraînement, le plateau de distribution, le moteur électrique, le séparateur des égouts, la charrue de déchargement et le clapet de décharge (criticité 18-36) nécessitent une maintenance préventive systématique et conditionnelle.

### **B. Recommandations**

Vu que la majorité problèmes sont liés à l'usure et à la déformation des composants, qui sont causés par plusieurs facteurs :

- **Mauvaise exploitation** : Surchargement et non-respect des consignes. Une formation des opérateurs est nécessaire.
- **Qualité des composants** : Trouver des fournisseurs de meilleure qualité.
- **Conception et montage** : Vérifier le dimensionnement, les matériaux et les procédures de montage.
- **Lubrification insuffisante** : Installer des graisseurs et élaborer un plan de graissage, en formant les agents de maintenance.

## **III.6. Elaboration d'un plan de maintenance préventive :**

Comme l'essoreuse à sucre se trouve dans une phase de vieillissement, ses composants commencent à se détériorer. Ainsi, il est recommandé de mettre en place une maintenance préventive plus fréquente en réduisant les intervalles entre chaque intervention préventive. Pour ce faire, il est nécessaire d'appliquer une méthode visant à optimiser la fréquence des interventions de maintenance.

### **A. Optimisation de la fréquence des interventions de maintenance**

La méthode ABACABAD est une approche structurée de la maintenance préventive utilisée pour optimiser les intervalles d'intervention sur les équipements industriels. Elle repose sur une planification cyclique des interventions de

maintenance, où différentes tâches sont effectuées à des fréquences variables en fonction de la criticité des éléments de la machine et de leur impact sur sa fiabilité.

➤ **Procédure**

1. **Identification des éléments critiques** : Sélectionner les composants de l'équipement susceptibles de défaillir.
2. **Détermination des MTBF** : Calculer ou estimer le temps moyen entre les pannes pour chaque composant critique.
3. **Choix de la période de maintenance P** : Définir une période principale de maintenance basée sur le MTBF des composants les plus critiques.
4. **Planification des interventions** : Répartir les interventions selon un cycle spécifique (ABACABAD), où chaque lettre représente un type de maintenance à effectuer à des intervalles calculés.
  - **A** : Maintenance légère (lubrification et graissage).
  - **B** : Maintenance intermédiaire (A + interventions supplémentaires « vérification et contrôle »).
  - **C** : Maintenance avancée (B + vérification approfondie « réglage et réparation »).
  - **D** : Maintenance majeure (C + remplacement et révision).

➤ **But**

Le but de la méthode ABACABAD est de maximiser la disponibilité et la fiabilité des équipements industriels en optimisant les intervalles de maintenance. Elle vise à :

- Réduire les coûts de maintenance en évitant les interventions excessives.
- Minimiser les temps d'arrêt imprévus.
- Prolonger la durée de vie des équipements.

➤ **Application de la méthode ABACABAD sur l'essoreuse à sucre BMA (B1750R)**

Les éléments critiques de l'essoreuse à sucre et leurs MTBF

- Arbre de panier : MTBF= 322,62 heures
- Tête d'entraînement : MTBF= 379,48 heures
- Charrue de déchargement : MTBF= 238,87 heures

- Clapet de décharge : MTBF= 260,19 heures
- Moteur électrique : MTBF= 190,29 heures
- Plateau de distribution : MTBF= 106,65 heures
- Séparateur des égouts : MTBF= 173,35 heures

➤ **Calcul de la période P**

Méthode du plus petit MTBF

Pour une approche conservatrice :

$$P = \min (\text{MTBF}_1, \text{MTBF}_2, \text{MTBF}_3, \text{MTBF}_4, \text{MTBF}_5, \text{MTBF}_6, \text{MTBF}_7)$$

$$P = \min (322,62, 379,48, 238,87, 260,19, 190,29, 106,65, 173,35)$$

$$P = 106,65 \text{ heures}$$

Méthode de la moyenne pondérée

Pour une approche plus équilibrée :

$$P = \frac{(\text{MTBF}_1 + \text{MTBF}_2 + \text{MTBF}_3 + \text{MTBF}_4 + \text{MTBF}_5 + \text{MTBF}_6 + \text{MTBF}_7)}{7} \quad (\text{II. 37})$$

$$P = \frac{(322,62 + 379,48 + 238,87 + 260,19 + 190,29 + 106,65 + 173,35)}{7} \quad (\text{II. 38})$$

$$P = 238,78 \text{ heures}$$

➤ **Sélection finale de P**

Pour garantir la sécurité tout en optimisant les interventions, les actions périodiques de maintenance de tous les composants sont regroupées par ordre de priorité. Il est donc judicieux d'opter pour une périodicité de base légèrement inférieure à la moyenne pondérée, ce qui est le cas pour  $P = 200$  heures.

**B. Plan de maintenance préventif optimisé pour les éléments critiques**

Selon le tableau de la méthode " ABACABAD " suivant :



Tableau III. 9 : Tableau de la méthode "ABACABAD"

Listing	Périodicité (h)							
	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600
1 (A)								
2 (B)								
3 (C)								
4 (D)								
Catégorie	A	B	A	C	A	B	A	D

**Tableau III. 10** : Plan de maintenance préventif optimisé pour les éléments critiques

P (h)	Type de visite	Opération préventive
200	(A) Maintenance légère (lubrification et graissage)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Lubrification des roulements (Arbre de panier).</li> <li>– Lubrification des roulements et des ressorts (Tête d'entraînement).</li> <li>– Graissage des roulements et lubrification des vérins (Charrue de déchargement).</li> <li>– Lubrification de la plaque d'obturation et des vérins (Clapet de décharge).</li> <li>– Lubrification des roulements du moteur.</li> <li>– Graissage de la manchette de vanne. (Séparateur des égouts).</li> </ul>
400	(B) Maintenance intermédiaire (vérification et contrôle)	<p>A +</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Inspection visuelle, Surveillance des vibrations (Arbre de panier).</li> <li>– Inspection des ressorts et des roulements (Tête d'entraînement).</li> <li>– Inspection visuelle des roulements et des vérins (la charrue de déchargement).</li> <li>– Inspection visuelle de la plaque d'obturation, du vérin et des tiges de guidage (Clapet de décharge).</li> <li>– Inspection visuelle des roulements, Surveillance des vibrations (Arbre du moteur).</li> <li>– Inspection visuelle du plateau de distribution.</li> <li>– Inspection visuelle de la manchette de vanne (Séparateur des égouts).</li> </ul>
600	(A) Maintenance légère (lubrification et graissage)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Lubrification des roulements (Arbre de panier).</li> <li>– Lubrification des roulements et des ressorts (Tête d'entraînement).</li> <li>– Graissage des roulements et lubrification des vérins (Charrue de déchargement).</li> <li>– Lubrification de la plaque d'obturation et des vérins (Clapet de décharge).</li> </ul>

**Chapitre III : Étude de cas : Essoreuse à sucre BMA (B1750R).**

		<ul style="list-style-type: none"> <li>– Lubrification des roulements du moteur.</li> <li>– Graissage de la manchette de vanne. (Séparateur des égouts).</li> </ul>
800	(C) Maintenance avancée (réglage et réparation)	<p><b>B +</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Équilibrage dynamique de l'arbre.</li> <li>– Calibration de tête d'entraînement pour garantir un mouvement précis.</li> <li>– Rééquilibrage de la charrue de déchargement.</li> <li>– Le réalignement des tiges de guidage (Capet de décharge)</li> <li>– Vérification et ajustement de l'alignement du moteur.</li> <li>– Réajustement du plateau de distribution.</li> <li>– Test de fonctionnement pour vérifier l'étanchéité du canal d'égout.</li> </ul>
1000	(A) Maintenance légère (lubrification et graissage)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Lubrification des roulements (Arbre de panier).</li> <li>– Lubrification des roulements et des ressorts (Tête d'entraînement).</li> <li>– Graissage des roulements et lubrification des vérins (Charrue de déchargement).</li> <li>– Lubrification de la plaque d'obturation et des vérins (Clapet de décharge).</li> <li>– Lubrification des roulements du moteur.</li> <li>– Graissage de la manchette de vanne. (Séparateur des égouts).</li> </ul>
1200	(B) Maintenance intermédiaire (vérification et contrôle)	<p><b>A +</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Inspection visuelle, Surveillance des vibrations (Arbre de panier).</li> <li>– Inspection des ressorts et des roulements (Tête d'entraînement).</li> <li>– Inspection visuelle des roulements et des vérins (la charrue de déchargement).</li> <li>– Inspection visuelle de la plaque d'obturation, du vérin et des tiges de guidage (Clapet de décharge).</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>– Inspection visuelle des roulements, Surveillance des vibrations (Arbre du moteur).</li> <li>– Inspection visuelle du plateau de distribution.</li> <li>– Inspection visuelle de la manchette de vanne (Séparateur des égouts).</li> </ul>
1400	(A) Maintenance légère (lubrification et graissage)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Lubrification des roulements (Arbre de panier).</li> <li>– Lubrification des roulements et des ressorts (Tête d'entraînement).</li> <li>– Graissage des roulements et lubrification des vérins (Charrue de déchargement).</li> <li>– Lubrification de la plaque d'obturation et des vérins (Clapet de décharge).</li> <li>– Lubrification des roulements du moteur.</li> <li>– Graissage de la manchette de vanne. (Séparateur des égouts).</li> </ul>
1600	(D) Maintenance majeure (remplacement et révision)	<p><b>C +</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Inspection non-destructive de l'arbre de panier</li> <li>– Remplacement des ressorts et des roulements usés (Tête d'entraînement)</li> <li>– Remplacement des vérins, roulements usés (Charrue de déchargement)</li> <li>– Remplacement des composants usés et déformés (plaque d'obturation, vérin pneumatique, tiges de guidage) (Clapet de décharge)</li> <li>– Inspection non-destructive de l'arbre du moteur et le remplacer si nécessaire.</li> <li>– Remplacement du plateau de distribution en cas de déformation importante.</li> <li>– Remplacement de la vanne si nécessaire. (Séparateur des égouts)</li> </ul>

**C. Interprétation et explication du plan**

- **Type A (toutes les 200 heures)**

**Interventions :** Lubrification et graissage de sous éléments.

**But :** Réduit l'usure et les frottements, prolongeant la durée de vie des composants critiques.

- **Type B (toutes les 400 heures)**

**Interventions :** Toutes les interventions de type A + Inspection visuelle, Surveillance des vibrations.

**But :** Détecte les signes de détérioration et les anomalies (usure, dommage...) avant qu'elles ne causent des défaillances majeures.

- **Type C (toutes les 800 heures)**

**Interventions :** Toutes les interventions de type B + équilibrage dynamique et réajustements.

**But :** Assure un fonctionnement fluide des éléments de l'essoreuse (sans vibrations excessives, réduisant le stress mécanique et prévenant la détérioration prématurée).

- **Type D (toutes les 1600 heures)**

**Interventions :** Toutes les interventions de type C + Remplacement des pièces usées ou déformées si nécessaire, Inspection non-destructive pour éviter les pannes.

**But :** Assurer le fonctionnement optimal et prolonger la durée de vie des composants critiques, en effectuant des remplacements nécessaires pour éviter les pannes coûteuses.

## **Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons mis en œuvre efficacement une approche de maintenance basée sur la fiabilité sur une essoreuse à sucre. Pour ce faire, l'analyse de la documentation technique a permis d'identifier la composition matérielle du système, facilitant ainsi la compréhension de sa structure et de son fonctionnement. Ensuite, des outils d'analyse fonctionnelle, tels que les diagrammes FAST et pieuvre, ont été utilisés pour examiner les relations entre les différents composants et le mécanisme de l'essoreuse.

L'analyse de fiabilité, réalisée avec le modèle Weibull, a révélé une baisse significative de la performance du système due à sa détérioration avancée et au manque d'entretien. Pour approfondir cette étude, l'utilisation de l'outil Pareto a montré qu'il est nécessaire d'adopter une approche de suivi particulière pour les éléments de la catégorie "A", responsables de 78,9% des temps d'arrêt.

Suite à cela, une étude AMDEC a été menée, identifiant huit éléments critiques nécessitant des actions préventives. Enfin, un plan d'actions a été proposé à l'aide de la méthode « ABACABAD » afin de contribuer à une gestion efficace et à l'optimisation des tâches de maintenance.

---

## **Conclusion générale et perspective**

---

## Conclusion générale et perspective

---

L'objectif principal d'une entreprise économique est de maximiser les bénéfices, ce qui nécessite une politique de maintenance visant à réduire les risques de défaillance dans sa chaîne de production. Dans ce contexte, l'analyse de fiabilité est cruciale pour évaluer l'état du système et fournir de l'aide à la décision à l'entreprise concernant la politique de maintenance à mettre en œuvre. Cela peut inclure des mesures préventives pour minimiser les pannes potentielles, des actions correctives et des améliorations.

Dans cette logique, une démarche de maintenance basée sur la fiabilité a été mise en œuvre dans ce travail, visant à optimiser la maintenance d'une essoreuse à sucre, un équipement essentiel pour la production de cette matière indispensable. L'objectif est de proposer des solutions concrètes, des recommandations pertinentes et un plan de maintenance détaillé permettant de réduire les pannes, d'améliorer la fiabilité, d'accroître la disponibilité et d'augmenter la productivité de l'ensemble du système étudié.

Pour commencer, nous avons procédé à la décomposition fonctionnelle du système en sous-systèmes et en composants. En parallèle, une analyse exhaustive a été menée sur son historique. Cette approche nous a permis d'établir une étude de fiabilité afin d'évaluer l'état de l'équipement. Les résultats obtenus grâce au logiciel « *Minitab* » ont révélé une augmentation du taux de défaillance de l'équipement, principalement en raison du vieillissement de ses composants. Des courbes ont ensuite été tracées sur « *Excel* » pour suivre l'évolution de la fiabilité et des défaillances dans le temps, fournissant ainsi des indications sur l'état futur de l'équipement. En outre, une analyse AMDEC du système a été entreprise afin d'identifier les éléments critiques de l'essoreuse à sucre. Enfin, un plan optimisé de maintenance préventive a été élaboré pour ces éléments. La mise en place des actions planifiées permettra d'une part de faciliter la gestion des opérations de maintenance, et d'autre part d'assurer de manière certaine un fonctionnement optimal sur le long terme.

Des travaux futurs pourront être envisagés afin d'étendre l'analyse à d'autres équipements critiques, de mettre en place un système de GMAO pour un meilleur suivi, et d'explorer les nouvelles technologies comme l'IoT (Internet of Things) et l'intelligence artificielle (IA). L'IoT connecte les machines à internet, collectant ainsi en temps réel des données sur leur état. Ces données sont ensuite analysées par l'IA pour détecter des tendances et prédire les pannes potentielles, offrant ainsi une maintenance véritablement prédictive et proactive.



---

## **Références bibliographiques**

---

## Références bibliographiques

---

- [1] Université Frères Mentouri-Constantine 1. (2021). Cours de maintenances des équipements. Institut des sciences et des techniques appliquées. Récupéré le 14 février 2024, sur <https://fac.umc.edu.dz/ista/pdf/cours/cours%20omm2.pdf>
- [2] Université Ibn Khaldoun de Tiaret. (2022). Projet de fin de cycle Master, « La mise en place d'un plan de maintenance préventive sur un site de transport d'énergie électrique ». Faculté des Sciences Appliquées. Récupéré le 14 février 2024, sur <http://dspace.univ-tiaret.dz/bitstream/123456789/4500/1/TH.M.GM.FR.2021.36.pdf>
- [3] TRIBOFILM, (6 octobre 2021), article «les différents types de maintenance », Récupéré le 16 février 2024, sur <https://www.tribofilm.fr/les-differents-types-de-maintenance/>
- [4] UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA, (09/09/2020), mémoire de master « Analyse des coûts de maintenance et leur importance sur la stratégie de production d'une entreprise ». Faculté des sciences de l'ingénierie. Récupéré le 17 février 2024, sur <https://biblio.univ-annaba.dz/ingeniorat/wp-content/uploads/2021/06/memoire-Daif-2020.pdf>
- [5] UNIVERSITE Abderrahmane MIRA BEJAIA, (Mar 27, 2022), mémoire de master « Mise en place d'un plan de maintenance préventive pour l'amélioration de la disponibilité de la ligne « TAMBOUR » au sein de SAMHA (Brandt) Sétif ». Faculté de Technologie. Récupéré le 19 février 2024, sur <https://fr.scribd.com/document/566828949/memoire-fin-d-etude>
- [6] FRANCHISE FACILE, (24 février 2022), article « Quels sont les différentes formes de maintenance », Récupéré le 22 février 2024, sur <https://www.franchise-facile.com/quels-sont-les-differentes-formes-de-maintenance/>
- [7] Université Ibn Khaldoun de Tiaret, (2022), Projet de fin de cycle Master « Analyse FMD d'un four a induction ». Faculté des Sciences Appliquées. Récupéré le 25 février 2024, sur <http://dspace.univ-tiaret.dz/bitstream/123456789/3958/1/TH.M.GM.FR.2022.16.pdf>
- [8] Université Internationale de Casablanca, (Nov 10, 2020), cours maintenance industrielle « Ch5 Les Coûts en Maintenance ». Récupéré le 28 mars 2024, sur <https://fr.scribd.com/document/483693196/Ch5-Les-Coûts-en-maintenance>
- [9] Université Larbi Tebessi – Tébessa, (08/06/2023), mémoire de master « Optimisation de la maintenance par fiabilité (cas de la mine d'Ouenza) ». Institut des Mines. Récupéré le 01 mars 2024, sur

## Références bibliographiques

---

<http://dspace.univ->

[tebessa.dz:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/10720/OPTIMISATION%20DE%20LA%20MAINTENANCE%20PAR%20FIABILITE.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://dspace.univ-tebessa.dz:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/10720/OPTIMISATION%20DE%20LA%20MAINTENANCE%20PAR%20FIABILITE.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[10] Université Kasdi Merbah Ouargla. (2019). Mémoire de master « L’impact D’amélioration De La Fiabilité Sur La Durée De Vie D’une Machine Stratégique Dans un Appareil De Forage Pétrolier. Cas De (Top Drive 8050 AC-712) ». Faculté des hydrocarbures et énergies renouvelables et sciences de la terre et de l’univers. Récupéré le 5 mars 2024, sur

<https://dspace.univ->

[ouargla.dz/jspui/bitstream/123456789/23149/1/m%C3%A9moire%20finale.pdf](https://dspace.univ-ouargla.dz/jspui/bitstream/123456789/23149/1/m%C3%A9moire%20finale.pdf)

[11] Université Kasdi Merbah Ouargla. (2018). Mémoire de master « Optimisation de la maintenance préventive (Cas des bandes de frein d'un treuil De forage NATIONAL OILWELL 840E) ». Faculté des hydrocarbures et des énergies renouvelables et sciences de la terre et l’univers. Récupéré le 5 mars 2024, sur

<https://dspace.univ->

[ouargla.dz/jspui/bitstream/123456789/19317/1/PFE%20OUALI%20Ahmed-BOULIFA%20Ismail.pdf](https://dspace.univ-ouargla.dz/jspui/bitstream/123456789/19317/1/PFE%20OUALI%20Ahmed-BOULIFA%20Ismail.pdf)

[12] Université Larbi Tebessi – Tébéssa. (09/10/2020). Mémoire de master « Optimisation de la Maintenance par la Fiabilité et la Disponibilité des équipements ». Institut des Mines. Récupéré le 7 mars 2024, sur

<http://dspace.univ->

[tebessa.dz:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/3104/Optimisation%20de%20la%20Maintenance%20par%20la%20Fiabilit%C3%A9%20et%20la%20Disponibilit%C3%A9%20des%20%C3%A9quipements.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://dspace.univ-tebessa.dz:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/3104/Optimisation%20de%20la%20Maintenance%20par%20la%20Fiabilit%C3%A9%20et%20la%20Disponibilit%C3%A9%20des%20%C3%A9quipements.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[13] LYCÉE ALBERT EINSTEIN. (2022). Cours « Concept FMD (fiabilité) ». Récupéré le 8 mars 2024, sur <http://cahier2meca.free.fr/maintenance/Concept%20FMD%20N1.pdf>

[14] Université de Ghardaia. (2021). Mémoire de master « Optimisation de la Maintenance Préventive par les Méthodes FMD et AMDEC d’un Compresseur AtlasCopco ». Faculté des sciences et de la technologie. Récupéré le 9 mars 2024, sur <http://dspace.univ-ghardaia.dz:8080/xmlui/handle/123456789/488>

## Références bibliographiques

---

[15] Université Mentouri Constantine. (Juin 2010). Article « La maintenance basée sur la fiabilité (MBF) : Un outil puissant pour optimiser les politiques de maintenance, illustration dans un complexe moteurs-tracteurs ». Laboratoire Ingénierie des Transports et Environnement, Récupéré le 11 mars 2024, sur

<https://fr.scribd.com/document/535830364/La-Maintenance-Basee-Sur-La-Fiabilite-Mbf-Un-Outil-Puissant-Pour-Optimiser-Les-Politiques-de-Maintenance-Illustration-Dans-Un-Complexe-Moteurs-tra>

[16] Université A. MIRA-BEJAIA. (2018). Mémoire de master « Etude et programmation d'une centrifugeuse BMA (B1750R) ». Faculté de Technologie. Récupéré le 20 avril 2024, sur

<https://univ-bejaia.dz/xmlui/bitstream/handle/123456789/16758/Combine.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[17] Université Sidi Mohamed Ben Abdellah. (2024). Rapport de stage « L'entreprise COSUMAR ». Faculté des Sciences et Techniques de Fès. Récupéré le 8 mai 2024, sur

<https://fr.scribd.com/document/728298751/Rapport-de-Stage-COSUMAR>

---

## **Annexes**

---

### ANNEXE A : Le principe de fonctionnement de l'essoreuse à sucre

- Phase de chargement :

Cette phase commence dès que la vitesse de chargement est atteinte, après l'ouverture du clapet à masse cuite. Elle comprend l'activation du contrôle de chargement automatique, l'ouverture du papillon de la vanne d'alimentation en masse cuite jusqu'à ce que le panier de la turbine soit rempli, que le clapet à masse cuite soit refermé et que le contrôle de chargement automatique soit désengagé.

Pendant le chargement du panier, la masse cuite adhère aux parois internes sous l'effet des forces centrifuges, formant ainsi un gâteau. La qualité de ce gâteau varie en fonction de la viscosité de la masse cuite et de la vitesse de chargement. Une répartition inégale des masses cuites peut entraîner un déséquilibre lorsque des forces centrifuges importantes se concentrent sur une surface limitée, provoquant des oscillations avec une amplitude croissante.

- Phase d'Accélération :

C'est la période s'étendant de la fin du chargement jusqu'à l'atteinte de la vitesse d'essorage finale. Pendant cette phase, les forces centrifuges expulsent l'eau-mère (égout pauvre) vers le circuit dédié aux égouts pauvres.

- Phase de clairçage :

À une certaine vitesse de rotation, un processus de clairçage à l'eau chaude est déclenché. L'eau chaude aide à éliminer la fine pellicule d'eau-mère qui adhère aux cristaux de sucre. Cette étape nécessite un bon contrôle de la vitesse de rotation pour éviter une fonte excessive du sucre. Cette eau, maintenant enrichie en sucre, est appelée égout riche. Elle est également dirigée vers un circuit dédié, séparé de l'égout pauvre.

✓ La gestion des égouts est une étape importante pour minimiser les pertes de sucre et pour assurer un processus de production efficace et respectueux de l'environnement.

- Phase essorage final :

Une fois le clairçage terminé, l'essoreuse atteint sa vitesse d'essorage finale. Les cristaux de sucre sont séparés de manière plus efficace de l'eau résiduelle et sont prêts à être collectés.

- Phase de décélération :

La phase de décélération dans le fonctionnement de l'essoreuse à sucre correspond à la période qui s'étend de la fin de l'essorage final au début du déchargement. Pendant cette phase, un freinage électrique est activé pour amener l'essoreuse à la vitesse de déchargement

prédéfinie. Cela permet de ralentir progressivement le mouvement de l'essoreuse à sucre et de préparer la machine pour le processus de déchargement de la masse cuite essorée.

- Phase de déchargement :

Après l'étape de décélération, le clapet de décharge s'ouvre pour permettre au sucre essoré de commencer à quitter la machine. Cependant, les cristaux de sucre ont tendance à se tasser et former une croûte compacte qui entrave leur écoulement libre. C'est pourquoi une charrue de déchargement, entre alors en rotation. Son rôle est de briser cette croûte et de remuer le lit de cristaux pour les guider vers l'ouverture de déchargement. Le clapet de décharge régule ensuite le débit en contrôlant la vitesse et l'orientation de l'écoulement des cristaux.

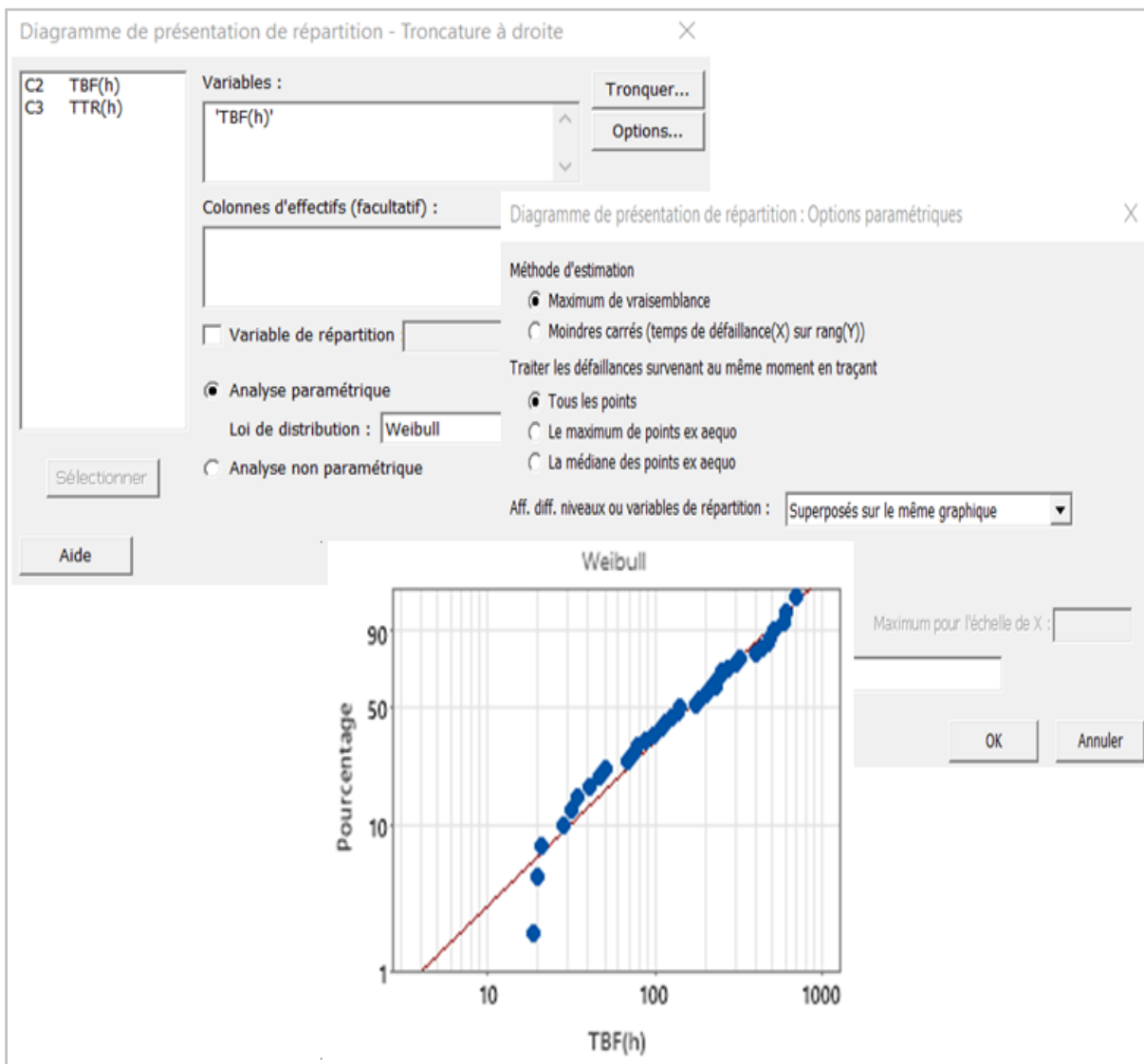
Ainsi, grâce à l'action combinée de la charrue qui désagrège le sucre et du clapet de décharge qui en régule le flux, cette étape cruciale assure un transfert maîtrisé et efficace du sucre essoré vers la section suivante du processus, généralement le séchage.

- Le lavage du tamis et la préparation au chargement :

Après le déchargement du sucre essoré, le tamis de l'essoreuse est soigneusement lavé pour éliminer tout résidu ou impureté accumulé pendant le cycle d'essorage précédent. Cette opération assure que le tamis est propre et prêt à être utilisé efficacement lors du prochain cycle. Une fois le tamis nettoyé et vérifié, l'essoreuse est préparée pour le chargement de la prochaine quantité de masse cuite. Cette préparation comprend la mise en place des dispositifs de contrôle et de régulation nécessaires, ainsi que la préparation des équipements pour le chargement de la masse cuite.

## ANNEXE B : La distribution de weibull par logiciel « *Minitab Statistical Software* »

Minitab offre une gamme étendue de fonctionnalités statistiques, incluant l'analyse de fiabilité. Pour obtenir les paramètres de la distribution de Weibull à partir des données TBF de l'essoreuse à sucre, on utilise l'assistant d'analyse de durée de vie. On opte pour l'estimation des paramètres de Weibull basée sur la méthode du maximum de vraisemblance, permettant ainsi de déduire la forme ( $\beta$ ) et l'échelle ( $\eta$ ) de la distribution à partir des données de défaillance.



**Figure (Annexe B). 1 :** La distribution de weibull par logiciel Minitab Statistical Software



## ANNEXE C : Les valeurs de A et B de la loi weibull

Tableau (Annexe C). 1 : Tableau de Calcul de la MTBF selon la loi de Weibull

$\beta$	A	B	$\beta$	A	B	$\beta$	A	B
0.2	120	1901	1.5	0.9027	0.613	4	0.9064	0.254
0.25	24	199	1.55	0.8994	0.593	4.1	0.9077	0.249
0.3	9.2625	50.08	1.6	0.8966	0.574	4.2	0.9086	0.244
0.35	5.291	19.98	1.65	0.8942	0.556	4.3	0.9102	0.239
0.4	3.3234	10.44	1.7	0.8922	0.54	4.4	0.9146	0.235
0.45	2.4686	6.46	1.75	0.8906	0.525	4.5	0.9125	0.23
0.5	24	47	1.8	0.8893	0.511	4.6	0.9137	0.226
0.55	1.7024	3.35	1.85	0.8882	0.498	4.7	0.9149	0.222
0.6	1.546	2.65	1.9	0.8874	0.486	4.8	0.916	0.218
0.65	1.3663	2.18	1.95	0.8867	0.474	4.9	0.9171	0.214
0.7	1.2638	1.85	2	0.8862	0.463	5	0.9162	0.21
0.75	1.1906	1.61	2.1	0.8857	0.443	5.1	0.9192	0.207
0.8	1.133	1.43	2.2	0.8856	0.425	5.2	0.9202	0.203
0.85	1.088	1.29	2.3	0.8859	0.409	5.3	0.9213	0.2
0.9	1.0522	1.17	2.4	0.8865	0.393	5.4	0.9222	0.197
1	1	1	2.6	0.8882	0.367	5.6	0.9241	0.191
1.05	0.9803	0.934	2.7	0.8893	0.355	5.7	0.9251	0.186
1.1	0.9649	0.878	2.8	0.8905	0.344	5.8	0.926	0.165
1.15	0.9517	0.83	2.9	0.8919	0.334	5.9	0.9269	0.183
1.2	0.9407	0.787	3	0.893	0.316	6	0.9277	0.18
1.25	0.99314	0.75	3.1	0.8943	0.325	6.1	0.9266	0.177
1.3	0.9236	0.716	3.2	0.8957	0.307	6.2	0.9294	0.175
1.35	0.917	0.667	3.3	0.897	0.299	6.3	0.9302	0.172
1.4	0.9114	0.66	3.4	0.8984	0.292	6.4	0.931	0.17
1.45	0.9067	0.635	3.5	0.8997	0.285	6.5	0.9316	0.168
1.5	0.9027	0.613	3.6	0.9011	0.278	6.6	0.9325	0.166
1.55	0.8994	0.593	3.7	0.9025	0.272	6.7	0.9335	0.163
1.6	0.8966	0.574	3.8	0.9083	0.266	6.8	0.934	0.161
1.65	0.8942	0.556	3.9	0.9051	0.26	6.9	0.9347	0.15

## ANNEXE D : La table de Kolmogorov-Smirnov

Tableau (Annexe D). 1 : La table de Kolmogorov-Smirnov

N	Niveau significatif $\alpha$				
	0.20	0.15	0.10	0.05	0.01
1	0.900	0.925	0.950	0.975	0.995
2	0.684	0.726	0.776	0.842	0.929
3	0.565	0.597	0.642	0.708	0.828
4	0.494	0.525	0.564	0.624	0.733
5	0.446	0.474	0.510	0.565	0.669
6	0.410	0.436	0.470	0.621	0.610
7	0.381	0.405	0.438	0.486	0.577
8	0.358	0.381	0.411	0.457	0.543
9	0.339	0.360	0.388	0.432	0.514
10	0.322	0.342	0.368	0.410	0.490
11	0.307	0.326	0.352	0.391	0.468
12	0.295	0.313	0.338	0.375	0.450
13	0.284	0.302	0.325	0.361	0.433
14	0.274	0.292	0.314	0.349	0.418
15	0.266	0.283	0.304	0.338	0.404
16	0.258	0.274	0.295	0.328	0.392
17	0.250	0.266	0.286	0.318	0.381
18	0.244	0.259	0.278	0.309	0.371
19	0.237	0.252	0.272	0.301	0.363
20	0.231	0.246	0.264	0.294	0.356
25	0.21	0.22	0.24	0.27	0.32
30	0.19	0.20	0.22	0.24	0.29
35	1.18	0.19	0.21	0.23	0.27
> 35	$1.07/\sqrt{N}$	$1.14/\sqrt{N}$	$1.22/\sqrt{N}$	$1.36/\sqrt{N}$	$1.63/\sqrt{N}$