

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE
N° : 01



DOMAINE : SCIENCE ET TECHNOLOGIE
FILIERE : ELECTROMECHANIQUE
OPTION : MAINTENANCE DES
EQUIPEMENTS INDUSTRIELLES

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Professionnelle

Présenté par :

BENYAHIA Islam Baha Eddine

DILMI Soufian

Intitulé

**Optimisation des paramètres de la sûreté de fonctionnement
d'une chaîne de production**

Soutenu devant le jury composé de :

Mr. DEFDAF Mabrouk	Université M'SILA	Président
Mr. GHEMARI Zine	Université M'SILA	Rapporteur
Mr. DJALAB Abdelhakim	Université M'SILA	Examineur

Année universitaire : 2022/2023

Dédicace

Je dédie ce travail :

A celui qui m'a encouragé à persévérer tout au long de ma vie,
l'homme le plus important de ma vie mon cher père.

A qui s'élèvera-je, sur qui reposait-je, et au cœur donnant, ma
chère mère.

A ceux qui ont tout faire pour m'aider et ont été le meilleur
soutien mes frères et sœurs et tout la famille.

A tous mes professeurs et tous ceux qui ont contribué ne serait-ce
qu'un mot dans ma carrière scolaire.

A tous les amis, tous les proches et tous mes collègues.

Islam, Soufian

إهداء

أهدي هذا العمل:

إلى من شجعني على المثابرة طوال عمري، الرجل الأبرز في حياتي والدي العزيز.

إلى من بها أعلو وعليها أرتكز وإلى القلب المعطاء والدتي الغالية.

إلى من بذلوا جهدا في مساعدتي وكانوا خير سند إخواني وأخواتي وجميع

العائلة.

إلى جميع أساتذتي وجميع كل من ساهم ولو بحرف واحد في مسيرتي

الدراسية.

إلى جميع أصدقائي، جميع المقربين وجميع زملائي.

إسلام، سفيان

Remerciement

Avant tout, le premier remerciement va à notre Dieu pour nous avoir donné le courage et la volonté pour réaliser ce travail, et qui nous a éclairé les chemins par la lumière de son immense savoir.

Nous ne pouvons, réellement, trouver les expressions appropriées que mérite nos encadreur Mr. GHEMARI Zine, afin de le remercier pour son humilité, sa patience, sa gentillesse, ses conseils, son aide, ainsi que pour le temps qu'il a consacré pour nous évaluer.

Sans oublier de remercier tous les enseignants de la faculté de la technologie et spécialement les enseignants du département de génie électrique.

Enfin, nous adressons notre plus sincère remerciement à tous nos proches et amis qui nous ont toujours soutenu et encouragé pour réaliser ce travail.

شكر

قبل كل شيء، نتوجه بالشكر الأول إلى الله سبحانه وتعالى لأنه منحنا الشجاعة والإرادة للقيام بهذا العمل، والذي أنار طرقنا بنور معرفته الهائلة.

لا يمكننا أن نجد التعبيرات المناسبة التي يستحقها مشرفنا السيد غماري زين، لكي نشكره على تواضعه، وصبره، ولطفه، ونصائحه، ومساعدته، وكذلك على الوقت الذي كرسه لتقييمنا.

دون أن ننسى أن أشكر جميع أساتذة بكلية التكنولوجيا وخاصة أساتذة قسم الهندسة الكهربائية.

أخيراً، نتوجه بخالص الشكر إلى جميع أقاربنا وأصدقائنا الذين دعمونا دائماً وشجعونا على القيام بهذا العمل.

Table des matières

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Etat de l'art sur la maintenance industrielle	
I.1. Introduction	4
I.2. Définition de la maintenance	4
I.3. Evolution de la maintenance	4
I.4. Objectifs de la maintenance	5
I.5. Types de la maintenance	5
I.5.1. Maintenance préventive	6
I.5.1.1. Maintenance préventive systématique	6
I.5.1.2. Maintenance préventive conditionnelle	7
I.5.1.3. Objectifs de la maintenance préventive	7
I.5.1.4. Opérations de la maintenance préventive	8
I.5.2. Maintenance corrective	8
I.5.2.1. Maintenance corrective palliative	9
I.5.2.2. Maintenance corrective curative	9
I.5.2.3. Opérations de la maintenance corrective	10
I.6. Choix du type de la maintenance approprié.....	11
I.7. Processus de la maintenance	12
I.8. Fonctions de la maintenance	13
I.9. Ressources de la maintenance	14
I.10. Activités de la maintenance	15
I.11. Niveaux de la maintenance	16
I.12. Conclusion.....	17
Chapitre II : Sûreté de fonctionnement	
II.1. Introduction	19
II.2. Définition de la sureté de fonctionnement	19
II.3. Fiabilité.....	20
II.4. Fonction de répartition.....	21
II.5. Densité de probabilité	21
II.6. Taux de défaillance.....	22
II.7. Maintenabilité	23
II.8. Taux de réparation	23
II.9. Disponibilité	24

II.10. Sécurité	24
II.11. Indicateurs de temps de la sûreté de fonctionnement	25
II.12. Loi de calcul de FMD	25
II.12.1. Fiabilité	25
II.12.1.1. Loi exponentielle	25
II.12.1.2. Loi WEIBULL	26
II.12.2. Maintenabilité	29
II.12.3. Disponibilité.....	30
II.13. Méthodes d'analyse de défaillance	30
II.13.1. Courbe ABC	30
II.13.1.1. Présentation de la courbe ABC	30
II.13.1.2. Objectifs de la courbe ABC	30
II.13.1.3. Méthodologie de la courbe ABC	31
II.13.2. Diagramme de PARETO	32
II.13.2.1. Présentation de diagramme de PARETO.....	32
II.13.2.2. Objectifs de diagramme de PARETO.....	32
II.14. Conclusion	33

Chapitre III : Présentation de l'entreprise AGRODIV M'SILA

III.1. Introduction.....	35
III.2. Présentation de l'entreprise	35
III.3. Capacité de production de l'entreprise	36
III.4. Structure organisationnelle des unités de l'entreprise.....	36
III.5. Processus de production	37
III.5.1. Approvisionnement interne	37
III.5.2. Pré nettoyage	37
III.5.3. Nettoyage.....	38
III.5.4. Ajout d'eau	40
III.5.5. Meulage	40
III.5.6. Filtrage.....	41
III.5.7. Collecte et stockage.....	42
III.5.8. Emballage	43
III.6. Conclusion.....	44

Chapitre IV : Application de l'analyse FMD sur la chaîne de production (AGRODIV M'SILA)

IV.1. Introduction	46
IV.2. Présentation de la chaîne de production	46
IV.3. Historique des pannes de la chaîne de production	49
IV.4. Etude FMD de la chaîne de production.....	54
IV.4.1. Fiabilité.....	54

IV.4.1.1. Calcul des paramètres de la loi de WEIBULL pour les quatre machines	59
IV.4.1.2. Test (KOLMOGOROV SMIRNOV) pour les quatre machines	62
IV.4.1.3. Calcul des fonctions $F(t)$, $R(t)$, $f(t)$ et $\lambda(t)$ pour les quatre machines	67
IV.4.1.4. Courbes de $F(t)$, $R(t)$, $f(t)$ et $\lambda(t)$ pour les quatre machines	72
IV.4.1.5. Calcul de $F(\text{MTBF})$, $R(\text{MTBF})$, $f(\text{MTBF})$ et $\lambda(\text{MTBF})$ pour les quatre machines.....	81
IV.4.2. Maintenabilité et Disponibilité	87
IV.4.2.1. Calcul des fonctions $M(t)$ et $D(t)$ pour les quatre machines.....	87
IV.4.2.2. Courbes de $M(t)$ et $D(t)$ pour les quatre machines	95
IV.5. Analyse des défaillances de la chaîne de production.....	102
IV.6. Solutions suggérées.....	111
IV.7. Conclusion	116
Conclusion générale.....	117
Références	119
Annexe	122

Liste des figures

Chapitre I : Etat de l'art sur la maintenance industrielle

Figure I.1 : Evolution de la maintenance	4
Figure I.2 : Objectifs de la maintenance.....	5
Figure I.3 : Types de la maintenance	6
Figure I.4 : Maintenance préventive systématique	6
Figure I.5 : Maintenance préventive conditionnelle	7
Figure I.6 : Maintenance corrective palliative	9
Figure I.7 : Maintenance corrective curative	10
Figure I.8 : Fonctions de la maintenance	13
Figure I.9 : Activités de la maintenance.....	16

Chapitre II : Sûreté de fonctionnement

Figure II.1 : Sûreté de fonctionnement et ces paramètres	19
Figure II.2 : Courbe de la fonction de fiabilité $R(t)$	20
Figure II.3 : Courbe de fonction de répartition $F(t)$	21
Figure II.4 : Courbe de fonction densité de probabilité $f(t)$	21
Figure II.5 : Courbe en baignoire	22
Figure II.6 : Courbe de la fonction de maintenabilité $M(t)$	23
Figure II.7 : Courbe de la fonction de disponibilité $D(t)$	24
Figure II.8 : Indicateurs de temps de la sureté de fonctionnement.....	25
Figure II.9 : Courbes des fonctions $R(t)$, $f(t)$ et $\lambda(t)$ en loi exponentielle.....	26
Figure II.10 : Courbes des fonctions $R(t)$, $f(t)$ en fonction de paramètre de forme β	27
Figure II.11 : Courbe de fonctions $\lambda(t)$ en fonction de paramètre de forme β	28
Figure II.12 : Courbe de fonction $f(t)$ en fonction de paramètre d'échelle η	28
Figure II.13 : Courbe de fonction $f(t)$ en fonction de paramètre de position γ	28
Figure II.14 : Courbe ABC.....	31
Figure II.15 : Diagramme de PARETO.....	32

Chapitre III : Présentation de l'entreprise AGRODIV M'SILA

Figure III.1 : Position géographique de l'entreprise AGRODIV M'SILA	35
Figure III.2 : Structure organisationnelle des unités d'entreprise AGRODIV M'SILA.....	36
Figure III.3 : Silos de stockage et Convoyeur	37
Figure III.4 : Brosse à blé.....	38

Figure III.5 : Appareil magnétique.....	38
Figure III.6 : Appareils de nettoyage final	39
Figure III.7 : Débitmètre automatique.....	40
Figure III.8 : Appareils à cylindres	41
Figure III.9 : Sasseur à semoule	41
Figure III.10 : Planchister.....	42
Figure III.11 : Silos de stockage de produit fini.....	42
Figure III.12 : Emballage de produit fini	43
Chapitre IV : Application de l'analyse FMD sur la chaine de production (AGRODIV M'SILA)	
Figure IV.1 : Appareil à cylindre.....	46
Figure IV.2 : Elévateur	47
Figure IV.3 : Ventilateur.....	48
Figure IV.4 : Vis	48
Figure IV.5 : Paramètres de la loi WEIBULL de l'appareil à cylindre par l'utilisation du logiciel Minitab 18..	60
Figure IV.6 : Paramètres de la loi WEIBULL de l'élévateur par l'utilisation du logiciel Minitab 18 ...	60
Figure IV.7 : Paramètres de la loi WEIBULL de ventilateur par l'utilisation du logiciel Minitab 18 ...	61
Figure IV.8 : Paramètres de la loi WEIBULL de la vis par l'utilisation du logiciel Minitab 18	61
Figure IV.9 : Courbe de la fonction de répartition de l'appareil à cylindre	73
Figure IV.10 : Courbe de la fonction de fiabilité de l'appareil à cylindre	73
Figure IV.11 : Courbe de la fonction de densité de probabilité de l'appareil à cylindre.....	74
Figure IV.12 : Courbe de la fonction du taux de défaillance de l'appareil à cylindre	74
Figure IV.13 : Courbe de fonction de répartition de l'élévateur	75
Figure IV.14 : Courbe de fonction de fiabilité de l'élévateur	75
Figure IV.15 : Courbe de fonction de densité de probabilité de l'élévateur	76
Figure IV.16 : Courbe de fonction de taux de défaillance de l'élévateur	76
Figure IV.17 : Courbe de fonction de répartition de ventilateur	77
Figure IV.18 : Courbe de fonction de fiabilité de ventilateur	77
Figure IV.19 : Courbe de fonction de densité de probabilité de ventilateur	78
Figure IV.20 : Courbe de fonction de taux de défaillance de ventilateur	78
Figure IV.21 : Courbe de fonction de répartition de la vis	79
Figure IV.22 : Courbe de fonction de fiabilité de la vis	79
Figure IV.23 : Courbe de fonction de densité de probabilité de la vis.....	80
Figure IV.24 : Courbe de fonction de taux de défaillance de la vis	80
Figure IV.25 : Courbe de la maintenabilité de l'appareil à cylindre	96
Figure IV.26 : Courbe de la disponibilité de l'appareil à cylindre	96
Figure IV.27 : Courbe de fonction de maintenabilité de l'élévateur	97

Figure IV.28 : Courbe de fonction de disponibilité de l'élévateur	97
Figure IV.29 : Courbe de fonction de maintenabilité de ventilateur	98
Figure IV.30 : Courbe de fonction de disponibilité de ventilateur	98
Figure IV.31 : Courbe de fonction de maintenabilité de la vis	99
Figure IV.32 : Courbe de fonction de disponibilité de la vis	99
Figure IV.33 : Courbe ABC de l'appareil à cylindre	105
Figure IV.34 : Diagramme de PARETO d'appareil à cylindre	106
Figure IV.35 : Courbe ABC d'élévateur	107
Figure IV.36 : Diagramme de PARETO d'élévateur	107
Figure IV.37 : Courbe ABC de ventilateur	108
Figure IV.38 : Diagramme de PARETO de ventilateur	109
Figure IV.39 : Courbe ABC de vis	110
Figure IV.40 : Diagramme de PARETO de vis	110

Liste des tableaux

Chapitre I : Etat de l'art sur la maintenance industrielle

Tableau I.1 : Prise de décisions pour le choix du type de la maintenance approprié.....	11
Tableau I.2 : Processus de la maintenance selon leurs deux types.....	12
Tableau I.3 : Niveaux de la maintenance.....	16
Chapitre IV : : Application de l'analyse FMD sur la chaine de production (AGRODIV M'SILA)	
Tableau IV.1 : Historique des pannes de l'appareil à cylindre.....	49
Tableau IV.2 : Historique des pannes de l'élévateur	50
Tableau IV.3 : Historique des pannes de ventilateur	51
Tableau IV.4 : Historique des pannes de la vis	53
Tableau IV.5 : Temps de bon fonctionnement de l'appareil à cylindre (TBF).....	55
Tableau IV.6 : Temps de bon fonctionnement de l'élévateur (TBF).....	56
Tableau IV.8 : Temps de bon fonctionnement de la vis (TBF)	58
Tableau IV.9 : Test KOLMOGOROV SMIRNOV de l'appareil à cylindre	62
Tableau IV.10 : Test KOLMOGOROV SMIRNOV de l'élévateur.....	63
Tableau IV.11 : Test KOLMOGOROV SMIRNOV de ventilateur.....	65
Tableau IV.12 : Test KOLMOGOROV SMIRNOV de la vis.....	66
Tableau IV.13 : Calcul des fonctions $F(t)$, $R(t)$, $f(t)$ et $\lambda(t)$ de l'appareil à cylindre.....	67
Tableau IV.14 : Calcul des fonctions $F(t)$, $R(t)$, $f(t)$ et $\lambda(t)$ de l'élévateur.....	69
Tableau IV.15 : Calcul des fonctions $F(t)$, $R(t)$, $f(t)$ et $\lambda(t)$ de ventilateur.....	70
Tableau IV.16 : Calcul des fonctions $F(t)$, $R(t)$, $f(t)$ et $\lambda(t)$ de la vis.....	71
Tableau IV.17 : Calcul des fonctions $M(t)$ et $D(t)$ de l'appareil à cylindre.....	91
Tableau IV.18 : Calcul des fonctions $M(t)$ et $D(t)$ de l'élévateur.....	92
Tableau IV.19 : Calcul des fonctions $M(t)$ et $D(t)$ de ventilateur.....	93
Tableau IV.20 : Calcul des fonctions $M(t)$ et $D(t)$ de la vis.....	94
Tableau IV.21 : Analyse des défaillances d'appareil à cylindre.....	102
Tableau IV.22 : Analyse des défaillances d'élévateur.....	103
Tableau IV.23 : Analyse des défaillances de ventilateur	104
Tableau IV.24 : Analyse des défaillances de vis	104

Liste d'abréviations

AFNOR	Association française de normalisation
FMD	Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité
R (t)	Fonction de fiabilité
F (t)	Fonction de répartition
F (i)	Fonction de répartition théorique
f (t)	Fonction de densité de probabilité
λ (t)	Taux de défaillance
M (t)	Fonction maintenabilité
μ (t)	Taux de réparation
D (t)	Fonction de disponibilité où la disponibilité instantanée
D	Disponibilité asymptotique
TBF	Temps de bon fonctionnement
MTBF	Moyenne de temps de bon fonctionnement
TTR	Temps technique de réparation
MTTR	Moyenne de temps technique de réparation
β	Paramètre de forme
η	Paramètre d'échelle
γ	Paramètre de position
D_n	Différence de test KOLMOGOROV SMIRNOV
P_i	Nombre des pannes de la machine
T_i	Temps d'arrêt de la machine

Introduction générale

Effectivement, la naissance de la maintenance industrielle est étroitement liée à l'avènement de la révolution industrielle au XIXe siècle. À mesure que les machines et les équipements industriels devenaient de plus en plus complexes, la nécessité de maintenir leur bon fonctionnement et de minimiser les temps d'arrêt est devenue évidente [1].

Cependant, c'est après la Première Guerre mondiale que la maintenance industrielle a gagnée en importance et en reconnaissance. Pendant la guerre, les machines et les équipements étaient sollicités de manière intensive pour soutenir les efforts de production et répondre aux besoins de l'industrie de guerre. Les pannes et les interruptions de production étaient inacceptables, car elles auraient compromis l'effort de guerre [2].

Ainsi, la maintenance industrielle a été développée et appliquée de manière systématique pour garantir le bon fonctionnement des machines et des équipements, ainsi que pour minimiser les pannes et les temps d'arrêt. Des pratiques telles que la maintenance préventive, la planification et l'organisation des activités de maintenance, ainsi que l'utilisation de méthodes d'inspection et de réparation ont été mises en place [3].

Depuis lors, la maintenance industrielle n'a cessé d'évoluer et de se développer. De nouvelles technologies et méthodologies ont été introduites, telles que la maintenance prédictive basée sur la surveillance et l'analyse des données, la maintenance conditionnelle, la maintenance proactive, etc. L'objectif global de la maintenance industrielle reste le même : assurer la disponibilité et la fiabilité des équipements industriels, minimiser les pannes et les coûts de maintenance, et optimiser la performance globale des systèmes de production [4].

Aujourd'hui, la maintenance industrielle joue un rôle essentiel dans de nombreux secteurs, tels que l'industrie manufacturière, l'énergie, les transports, l'exploitation minière, etc. Elle est considérée comme une discipline clé pour garantir la productivité, la rentabilité et la durabilité des installations industrielles.

L'objectif de notre mémoire est l'évaluation et l'amélioration des paramètres de sûreté de fonctionnement d'une chaîne de production qu'elle est une contribution précieuse pour l'industrie. Il permettra de mieux comprendre les défis et les opportunités liés à la sûreté de fonctionnement des équipements industriels, et de proposer des solutions concrètes pour optimiser la performance et la fiabilité des chaînes de production. Pour atteindre cet objectif, notre mémoire est structuré en quatre chapitres présentés comme suit :

- Le premier chapitre devrait fournir une vue d'ensemble de la maintenance industrielle, en mettant l'accent sur les types, les objectifs et les fonctions de la maintenance. Cela permettra aux lecteurs de comprendre le contexte et les concepts de base nécessaires pour apprécier l'importance de notre travail.
- Le deuxième chapitre de notre mémoire sera axé sur les paramètres de la sûreté de fonctionnement (fiabilité, maintenabilité, disponibilité) et les lois de calcul associées. Nous expliquerons les concepts de base de chaque paramètre, les méthodes de calcul correspondantes et leur utilisation dans l'évaluation des performances des systèmes et des équipements.
- Le troisième chapitre sera dédié à la présentation de l'entreprise AGRODIV M'sila et de sa chaîne de production. Nous exposerons les besoins et les problèmes de l'entreprise, ainsi que les objectifs et la méthodologie de notre stage pratique.
- Le quatrième chapitre de notre mémoire se concentrera sur l'analyse des paramètres de la sûreté de fonctionnement de la chaîne de production de l'entreprise AGRODIV M'sila et sur la proposition de solutions d'optimisation.
- La section de conclusion générale de notre mémoire permet de résumer les résultats obtenus, de discuter des perspectives futures et de mettre en évidence l'importance de notre travail dans le contexte de la sûreté de fonctionnement des chaînes de production.

*Chapitre I : Etat de l'art sur la
maintenance industrielle*

I.1. Introduction

Récemment, le secteur industriel est devenu plus complexe avec l'augmentation mondiale de la consommation, ça veut dire plus des machines plus des équipements plus des chaines de production et rythme de production élevée, donc il y a une possibilité d'apparition des défauts et de tomber en panne qui implique une diminution dans les rendements des systèmes industriel. Dans ce moment il vient le rôle de la maintenance industriel qui assurant un bon fonctionnement et un service bien déterminé de ces systèmes.

I.2. Définition de la maintenance

D'après AFNOR la maintenance est définie comme « ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise » [1].

I.3. Evolution de la maintenance

Dans un milieu où la production dans l'industrie vient de plus en plus automatisée et de plus en plus compliquée, la maintenance est éloignée d'être stable dans sa gérance qui nécessite le développement de cette dernière. Depuis les années 1940, la maintenance a évoluée à travers trois phases essentielles [2].

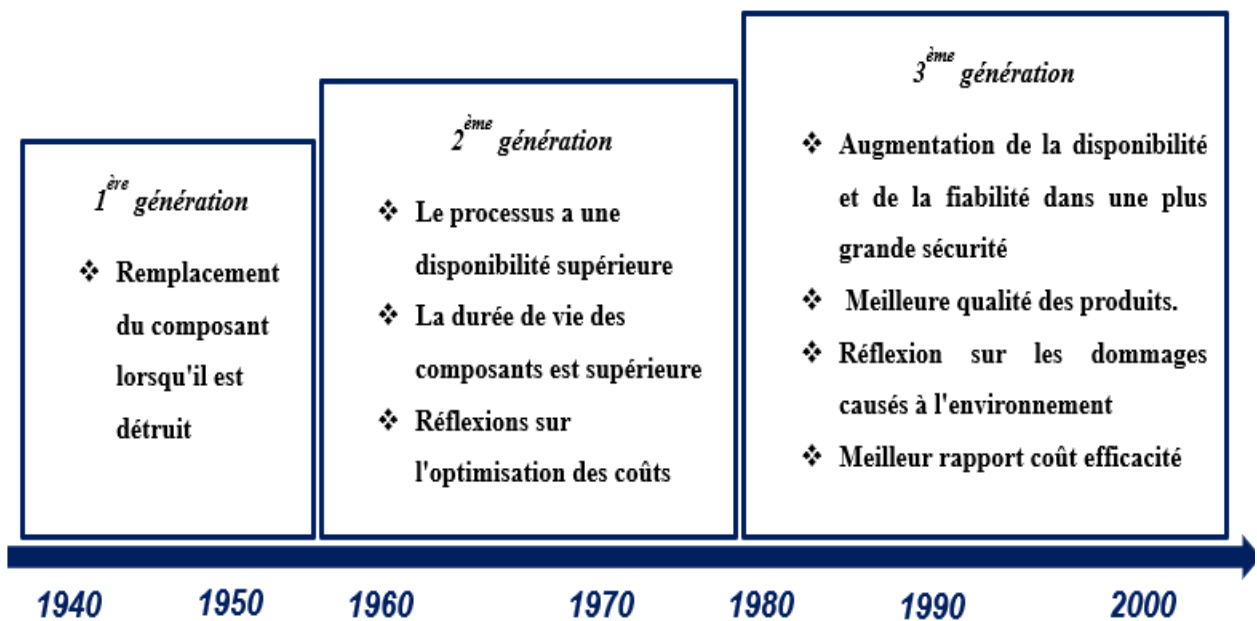


Figure I.1 : Evolution de la maintenance.

I.4. Objectifs de la maintenance

Depuis AFNOR les objectifs de la maintenance sont [3] :

- Amélioration du fiabilité, disponibilité et la durée de vie des équipements.
- Assurer la sécurité des personnes et des biens.
- Améliorer la qualité de production.
- Protection de l'environnement de travail.
- Optimiser les coûts de maintenance.

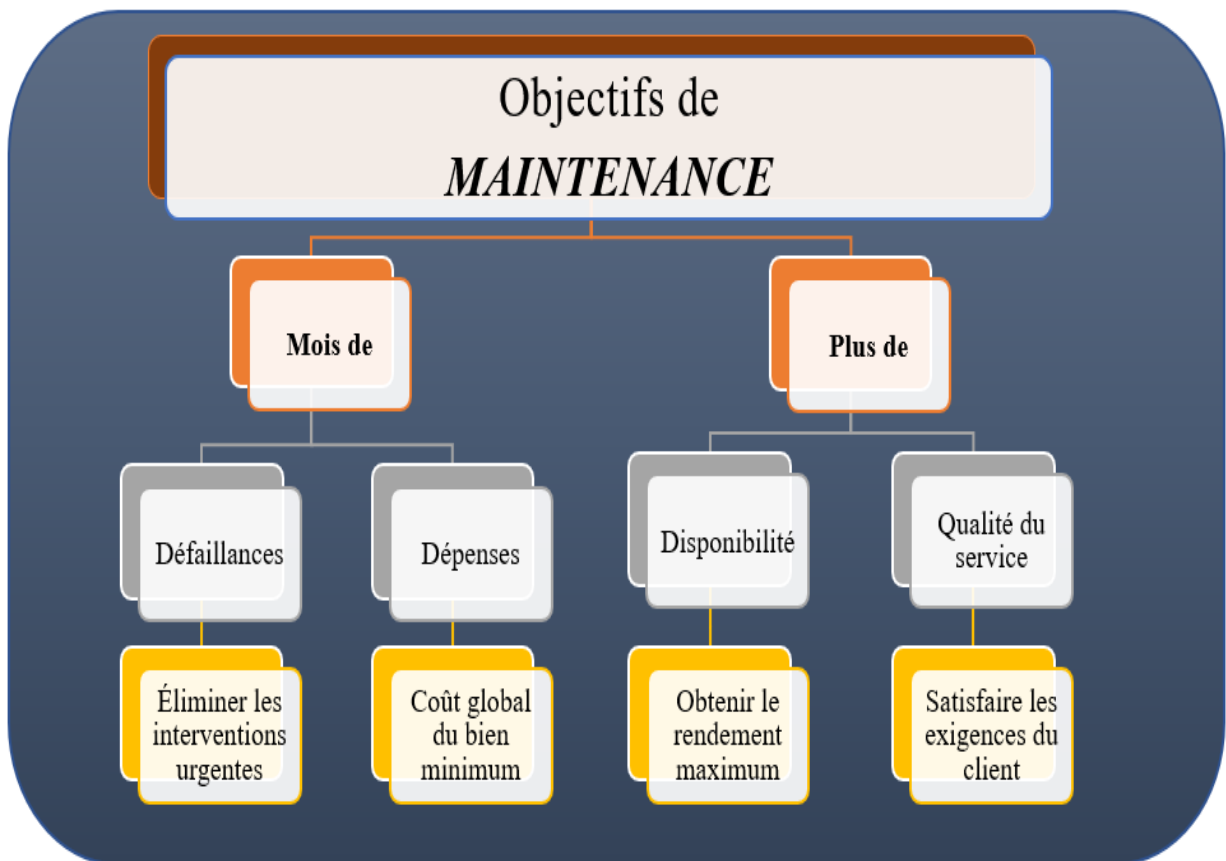


Figure I.2 : Objectifs de la maintenance.

I.5. Types de la maintenance

La maintenance peut être réalisée selon différentes méthodes en fonction des besoins et des objectifs spécifiques. La figure suivante illustre quelques-uns des principaux types de maintenance (figure I.3) :

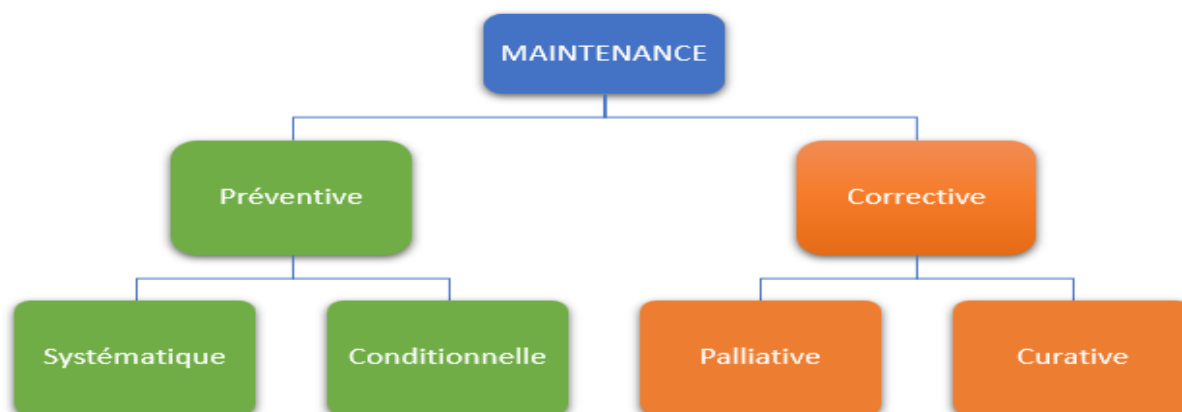


Figure I.3 : Types de la maintenance.

I.5.1. Maintenance préventive

AFNOR a défini la maintenance préventive comme « ensemble des actions exécutées à des intervalles de temps prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinées à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien » [4].

Selon la figure 1.3, il existe deux types de la maintenance préventive, la maintenance préventive systématique et la maintenance préventive conditionnelle :

I.5.1.1. Maintenance préventive systématique

Selon AFNOR la maintenance préventive systématique est définie comme suit : « maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien » [5].

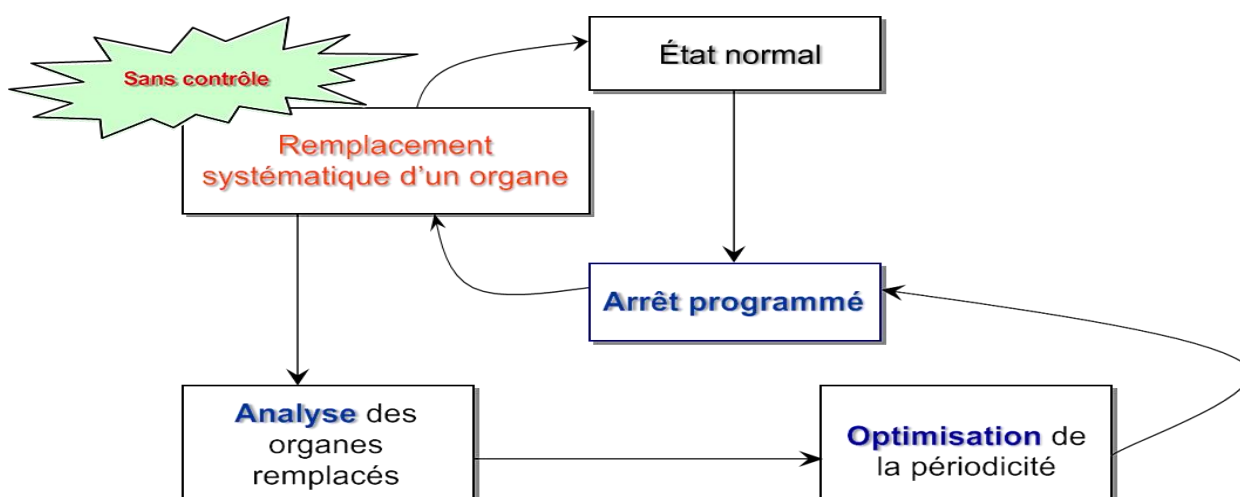


Figure I.4 : Maintenance préventive systématique.

I.5.1.2. Maintenance préventive conditionnelle

La maintenance préventive conditionnelle est définie depuis AFNOR comme suit : « maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement et intégrant les actions qui en découlent » [6].

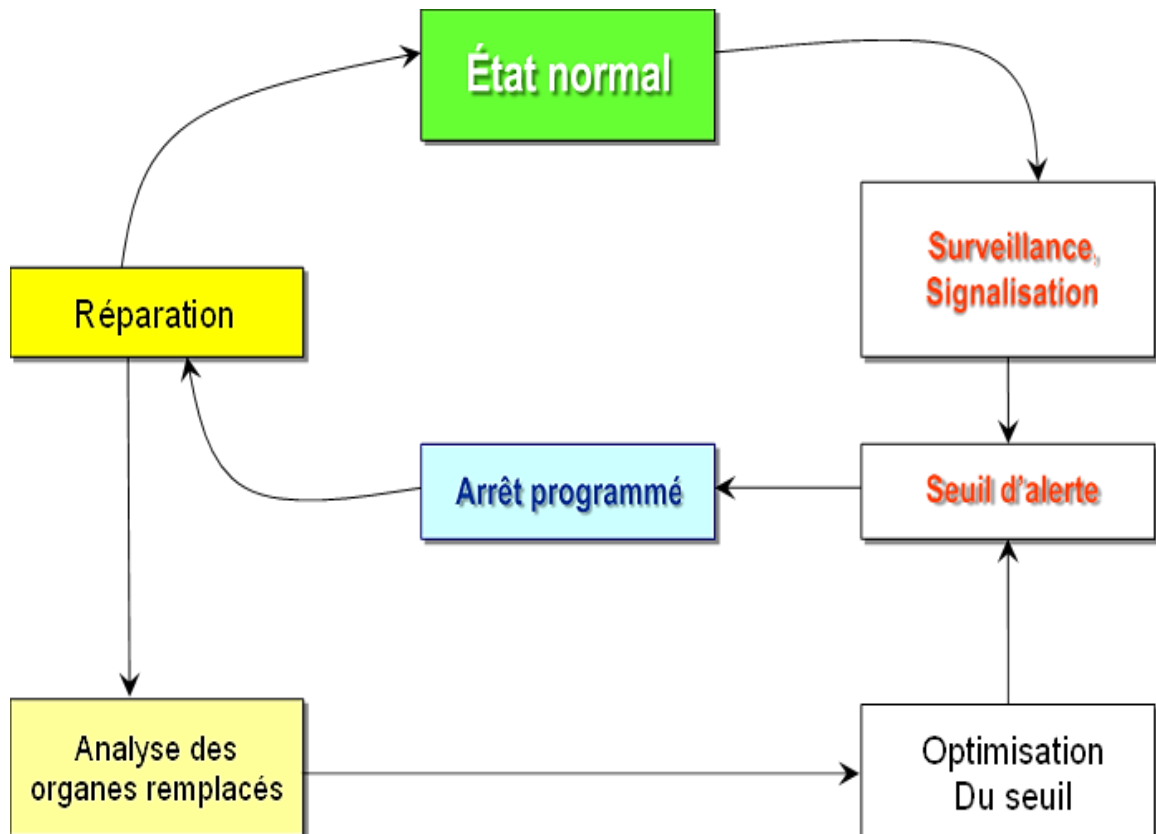


Figure I.5 : Maintenance préventive conditionnelle.

I.5.1.3. Objectifs de la maintenance préventive

Les objectifs de la maintenance préventive sont [7] :

- Amélioration de la fiabilité du matériel.
- La garantie de qualité des produits.
- Améliorer l'organisation des travaux.
- Assurance de la sécurité humaine.
- Amélioration du gestion des stocks.
- Améliorer les relations humaines.

I.5.1.4. Opérations de la maintenance préventive

Les opérations de la maintenance préventive sont [8] :

- **Inspection** : un contrôle conformité réalisé en mesurer, observer, tester ou calibrer les propriétés qui signifient un bien, elle se permet de extraire les anomalies et de faire des réglages simples qui ne besoin pas des outils spéciaux et n'arrêter pas les équipements et les installations sans les démonter.
- **Contrôle** : vérifie la conformité à des données prédéterminé, suivie d'un jugement. Ce contrôle peut être mener sur une opération de maintenance corrective ou insérer une décision de refuser, d'accepter ou d'ajouter.
- **Visite** : examen détaillé et préétablie de tout (visite généralisé) ou partie (visite limitée) des divers éléments du matériel et d'être capable à impliquer des actions de maintenance du premier et du deuxième niveau, aussi il peut conduire à la maintenance corrective.
- **Test** : comparaison des données obtenues entre un système un système de référence ou à un phénomène physique considérable qui fonctionne correctement.
- **Echange standard** : changement d'une pièce ou d'un sous-ensemble défailant par une pièce similaire, soit neuve ou précédemment réparé, selon les caractéristiques et les spécifications déterminé par le fabricant.
- **Révision** : ensemble complet de contrôle et d'opération effectué pour maintenir le niveau de disponibilité et de sécurité des équipements et installations. Une révision est généralement faite à des intervalles temps déterminé ou après un nombre d'action spécifié. La révision demandant un démontage complet ou un démontage d'une partie du bien. Donc il ne faut pas confondre entre la révision et la surveillance.

I.5.2. Maintenance corrective

D'après AFNOR la maintenance corrective est définie comme suit « maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise » [9].

Il existe deux types de la maintenance corrective, la maintenance corrective palliative et la maintenance corrective curative :

I.5.2.1. Maintenance corrective palliative

Depuis AFNOR la maintenance corrective palliative est définie comme « action de maintenance corrective destinée à permettre à un bien d'accomplir provisoirement tout ou partie d'une fonction requise » [10].

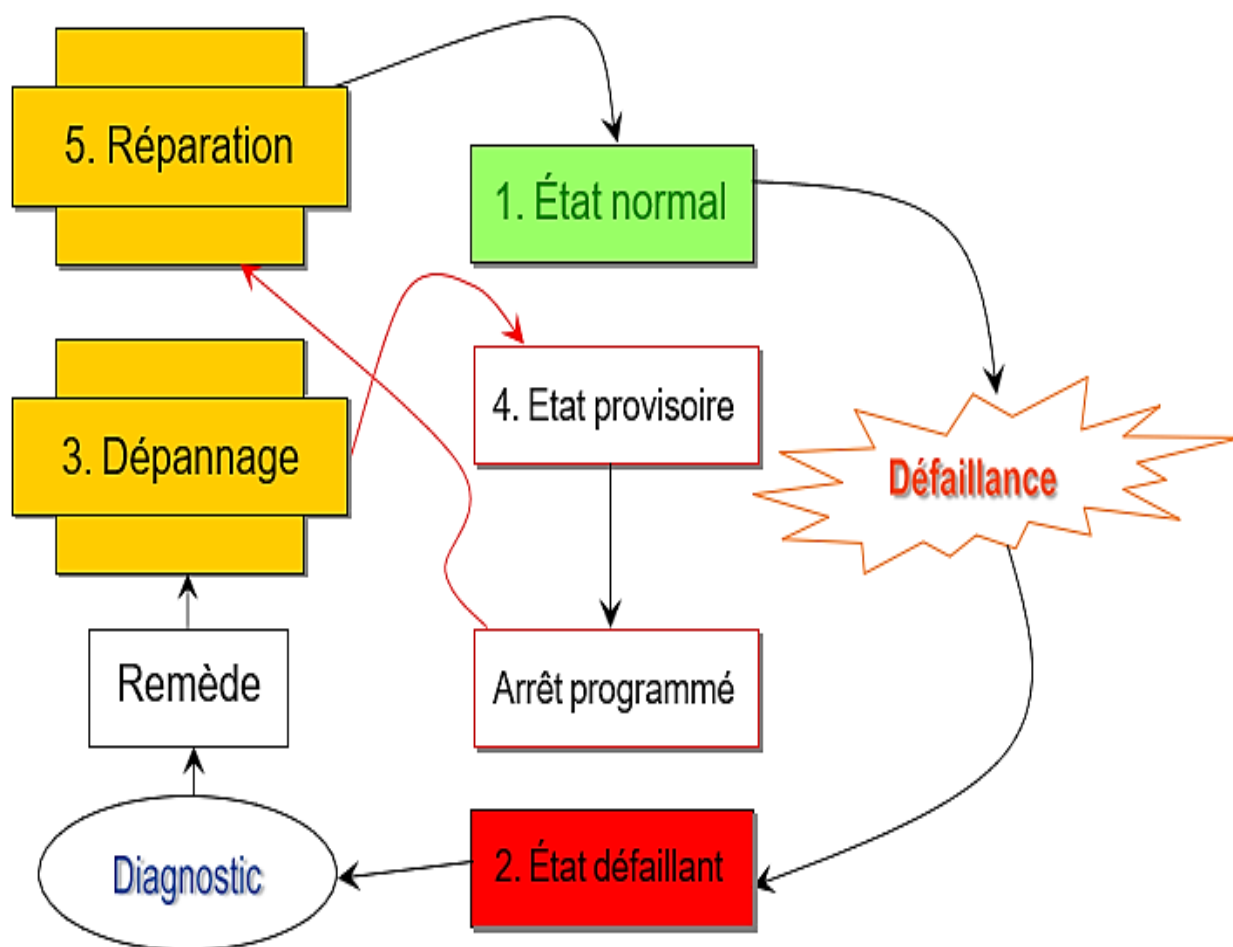


Figure I.6 : Maintenance corrective palliative.

I.5.2.2. Maintenance corrective curative

AFNOR a défini la maintenance corrective curative comme suit « action de maintenance corrective ayant pour objet de rétablir un bien dans un état spécifié pour lui permettre d'accomplir une fonction requise » [11].

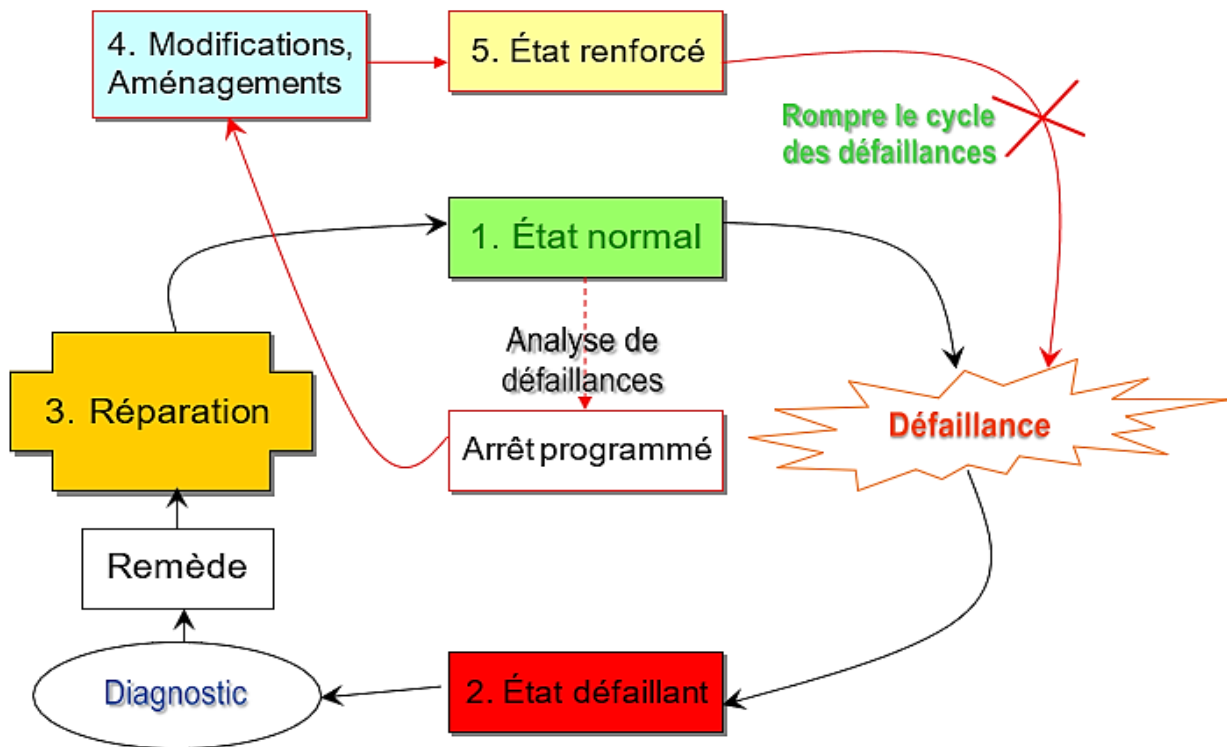


Figure I.7 : Maintenance corrective curative.

I.5.2.3. Opérations de la maintenance corrective

Les opérations de la maintenance corrective sont [12] :

- **Test** : comparer les mesures obtenues avec une référence.
- **Détection** : découvrir l'apparence des défauts.
- **Localisation** : détermination des éléments où s'apparaissent les défauts.
- **Dépannage et réparation** : rétablissement des éléments et composants du bien dans un état dans lequel il peut accomplir sa fonction requise soit de faire des modifications ou sans modification.
- **Contrôle** : vérifie le bon fonctionnement des équipements et installations.
- **Amélioration éventuelle** : éloignement de se tomber en panne répétitivement.
- **Historique** : enregistrer les interventions pour les utiliser ultérieurement.

I.6. Choix du type de la maintenance approprié

Les questions *POURQUOI*, *QUAND*, *OÙ* et *QUOI* sont les questions essentielles pour le choix du type de la maintenance appropriée, ces questions permettent de choisir le type de la maintenance le plus approprié à appliquer [13] :

- *POURQUOI ?* : quelle est le but d'effectuer ce type de maintenance ?
- *QUAND ?* : quand appliquer ce type de maintenance ?
- *OÙ ?* : sur qui en réalise ce type de maintenance ?
- *QUOI ?* : quelle est la nature des opérations de ce type maintenance ?

Tableau I.1 : Prise de décisions pour le choix du type de la maintenance approprié.

Type de maintenance	POURQUOI ?	QUAND ?	OÙ ?	QUOI ?
Maintenance corrective (palliative et curative)	Corriger une défaillance	Après le constat de la défaillance	Composant défaillant (résultat du diagnostic)	Dépannage (palliative) ou Réparation (curative)
Maintenance préventive	Eviter une défaillance	Avant la défaillance qui est déterminée par le franchissement (présent ou futur) d'un seuil représentatif de la défaillance par un indicateur	Composant associé à un indicateur ou résultat d'un diagnostic	Défini par le plan de maintenance ou par l'expert
Maintenance systématique	Eviter une défaillance	Un indicateur d'usage atteint un seuil	Composant associé à l'indicateur d'usage	Défini par le plan de maintenance
Maintenance conditionnelle	Eviter une défaillance en optimisant le risque d'action superflue	Un indicateur surveillé atteint un seuil représentatif d'un niveau de dégradation	Composant associé à l'indicateur surveillé ou résultat d'un diagnostic	Défini par le plan de maintenance

I.7. Processus de la maintenance

La maintenance se fait à travers ensemble des actions qui sont [14] :

- *Premièrement* : demande
- *Deuxièmement* : déclenchement
- *Troisièmement* : préparation
- *Quatrièmement* : validation et correction
- *Cinquièmement* : lancement de planification
- *Sixièmement* : ordonnancement
- *Septièmement* : prise en compte
- *Huitièmement* : diagnostic et expertise
- *Neuvièmement* : approvisionnement
- *Dixièmement* : intervention
- *Onzièmement* : contrôle et restitution d'équipement

Tableau I.2 : Processus de la maintenance selon leurs deux types.

Type de maintenance	Préventive	Corrective
Demande	Client	Client
Déclenchement	Requête Interne	Requête Interne Requête externe
Préparation	✓	
Validation et correction	✓	✓
Lancement planification	✓	✓
Ordonnancement	✓	
Prise en compte	✓	✓
Diagnostic Expertise		✓
Approvisionnement		✓
Intervention	✓	✓
Contrôle et restitution d'équipement	✓	✓

I.8. Fonctions de la maintenance

Les fonctions principales de la maintenance sont trois fonctions les quelles : *la fonction méthode*, *la fonction ordonnancement* et *la fonction réalisation*, ces fonctions se collabore entre eux pour l'assurance d'une gérance continu des opérations de production et de maintenance et plus particulièrement pour l'amélioration du rendement de ces opérations [15] :

- *La fonction méthode*

La fonction méthode regroupe toutes les analyses et les études pour déterminer un plan de maintenance selon les objectifs fixés.

- *La fonction ordonnancement*

Cette fonction positionne entre la fonction méthode et la fonction réalisation, la fonction ordonnancement rassemble les différentes ressources de la maintenance pour rendre les déférentes travaux et tâches réalisables.

- *La fonction réalisation*

C'est la fonction opératoire de la maintenance, le but de cette fonction est l'assurance du fonctionnement des équipements et des installations en état spécifié, un retour d'activités est appliqué afin que les services *méthode* et *ordonnancement* peuvent améliorer la réalisation des interventions.

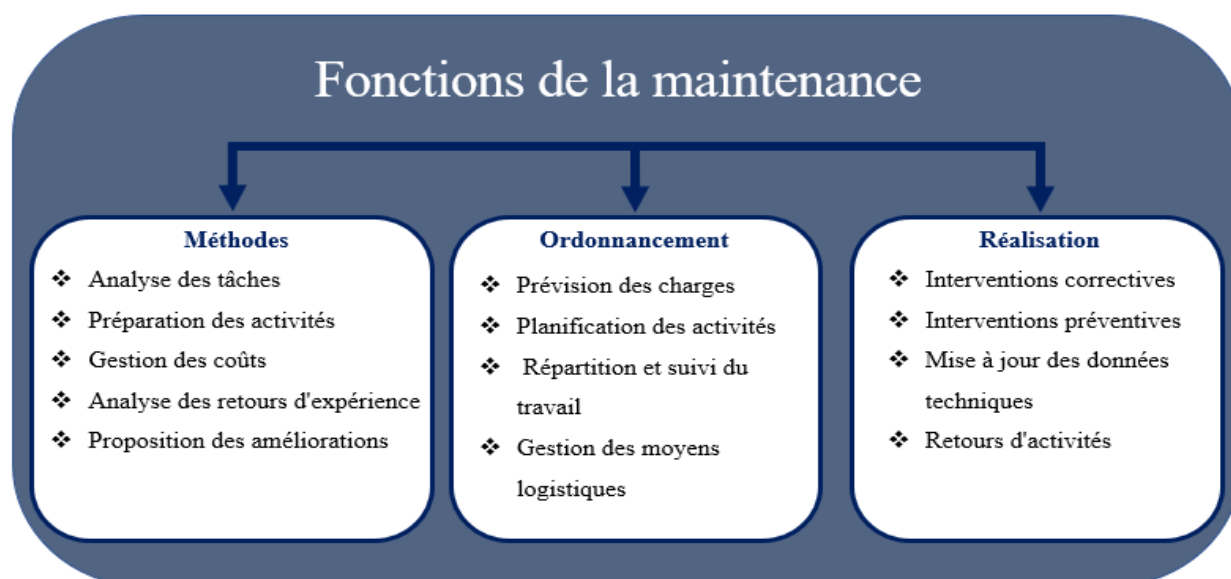


Figure I.8 : Fonctions de la maintenance.

I.9. Ressources de la maintenance

En effet, lorsqu'il s'agit de réaliser une maintenance efficace d'un bien ou d'un équipement, trois ressources essentielles sont nécessaires : les pièces de rechange, l'outillage et les ressources humaines. Ces ressources jouent un rôle crucial dans la mise en œuvre d'un programme de maintenance fiable et efficace. Voici un aperçu de chaque ressource [16] :

- Pièces de rechange : Les pièces de rechange font référence aux composants, aux pièces détachées ou aux éléments nécessaires pour remplacer les pièces usées, défectueuses ou endommagées d'un équipement. Elles peuvent inclure des éléments tels que des moteurs, des roulements, des joints, des capteurs, des câbles, des valves, etc. Les pièces de rechange doivent être stockées en quantité adéquate pour répondre aux besoins de maintenance préventive et corrective. Un bon inventaire de pièces de rechange permet de minimiser les temps d'arrêt en ayant rapidement accès aux pièces nécessaires.
- Outillage : L'outillage se réfère aux outils et aux équipements nécessaires pour effectuer les tâches de maintenance. Cela peut inclure des outils manuels tels que des clés, des tournevis, des pinces, des marteaux, ainsi que des équipements spécialisés tels que des appareils de mesure, des machines d'usinage, des soudeuses, des systèmes de levage, etc. L'outillage approprié permet aux techniciens de réaliser les opérations de maintenance de manière sûre, efficace et précise.
- Ressources humaines : Les ressources humaines font référence aux compétences, à l'expertise et à la main-d'œuvre nécessaires pour effectuer les tâches de maintenance. Cela comprend les techniciens, les ingénieurs, les superviseurs ou toute autre personne ayant les connaissances et les compétences nécessaires pour réaliser les différentes activités de maintenance. Les ressources humaines doivent être formées et qualifiées pour effectuer les inspections, les réparations, les révisions et les ajustements nécessaires. Il est également important d'avoir une planification adéquate du personnel pour garantir la disponibilité des ressources humaines au bon moment.

En intégrant ces trois ressources de manière adéquate, les organisations peuvent assurer une maintenance efficace et fiable de leurs biens et équipements. Les pièces de rechange appropriées, l'outillage adéquat et des ressources humaines compétentes sont essentielles pour minimiser les temps d'arrêt, prolonger la durée de vie des équipements et optimiser les performances de l'ensemble du système.

I.10. Activités de la maintenance

Les activités liées à la maintenance peuvent être regroupées en deux catégories principales : les activités à dominante technique et les activités à dominante gestion. Ces deux groupes représentent les aspects techniques et organisationnels de la maintenance. Voici une description de chaque groupe [17] :

- **Activités à dominante technique** : Ce groupe comprend les activités qui sont directement liées aux aspects techniques de la maintenance. Cela implique des tâches telles que l'inspection, la réparation, la révision, le remplacement des pièces défectueuses, l'ajustement et la calibration des équipements, la lubrification, le nettoyage, etc. Ces activités sont axées sur l'entretien et la réparation physique des équipements pour assurer leur bon fonctionnement. Les techniciens et les ingénieurs jouent un rôle clé dans l'exécution de ces tâches techniques.
- **Activités à dominante gestion** : Ce groupe comprend les activités qui sont axées sur la gestion globale de la maintenance. Cela comprend la planification et l'organisation des activités de maintenance, la gestion des stocks de pièces de rechange, l'élaboration des programmes de maintenance préventive, la gestion des ressources humaines, la budgétisation et la gestion des coûts de maintenance, la gestion des fournisseurs et des contrats de maintenance, l'analyse des données de maintenance, la gestion des incidents et la gestion des performances des équipements. Ces activités visent à assurer une maintenance efficace, rentable et bien organisée.

Il est important de trouver un équilibre entre les activités techniques et les activités de gestion pour garantir une maintenance réussie. Les activités techniques garantissent le bon fonctionnement et la fiabilité des équipements, tandis que les activités de gestion permettent une planification et une organisation efficaces des ressources et des processus de maintenance. Une collaboration étroite entre les équipes techniques et les équipes de gestion est essentielle pour assurer une maintenance optimale.

Il convient de noter que ces groupes ne sont pas strictement séparés, et certaines activités peuvent chevaucher les deux catégories. Par exemple, la planification de la maintenance préventive implique à la fois des aspects techniques (définition des tâches à effectuer) et des aspects de gestion (élaboration des calendriers, allocation des ressources, etc.). La combinaison efficace de ces deux groupes d'activités contribue à une maintenance performante et bien gérée.

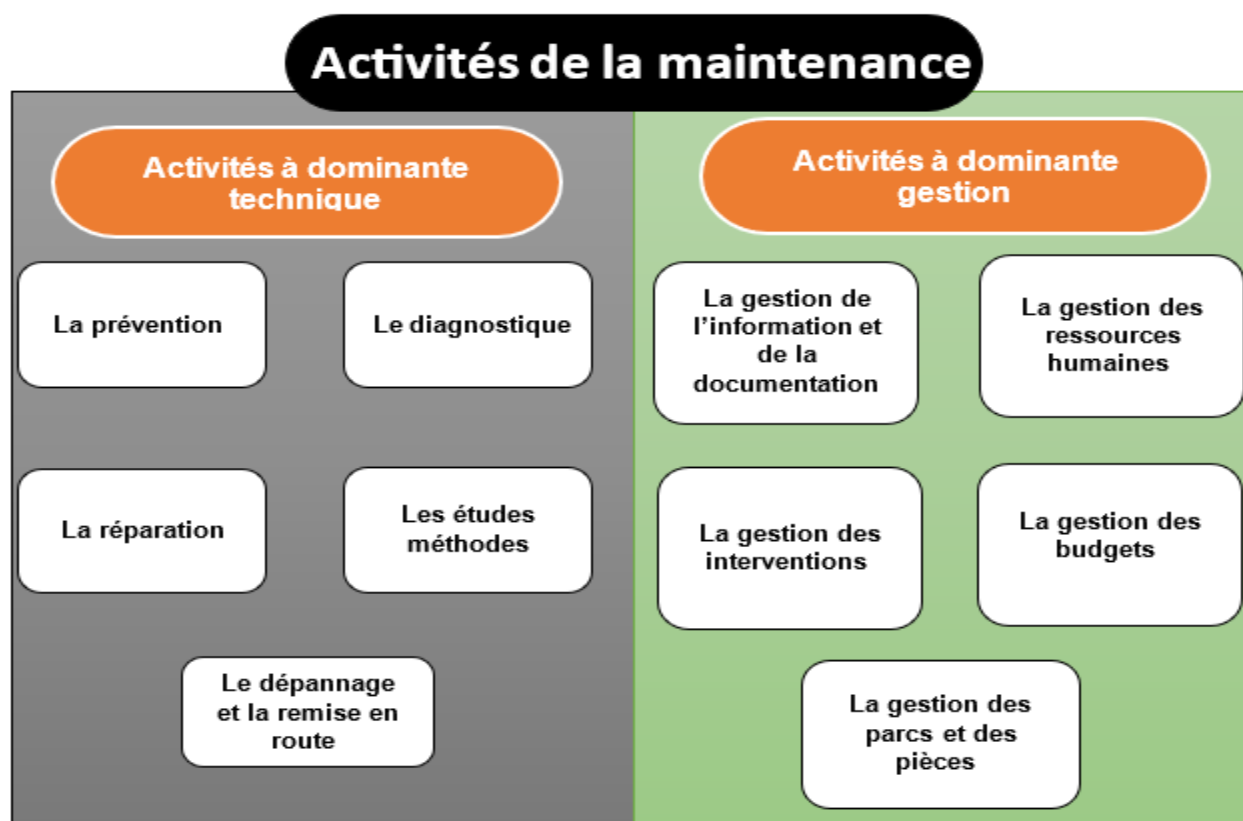


Figure I.9 : Activités de la maintenance.

I.11. Niveaux de la maintenance

Selon AFNOR les niveaux de la maintenance sont [18] :

Tableau I.3 : Niveaux de la maintenance.

Niveaux	Intervention	Personnel d'intervention	Moyens
1 ^{er}	Réglage simple prévu par le constructeur au moyen d'organes accessibles sans aucun montage d'équipement ou échange d'équipements accessibles en toute sécurité	Exploitant sur place	Outillage léger défini dans les instructions d'utilisation
2 ^{ème}	Dépannage par échange standard d'éléments prévus à cet effet ou d'opérations mineures de maintenance préventive	Technicien habilité sur place	Outillage léger défini dans les instructions d'utilisation, plus pièces de rechange trouvées à proximité, sans délai

3 ^{ème}	Identification et diagnostic de pannes, réparation par échange de composants fonctionnels, réparations mécaniques mineures	Technicien spécialisé, sur place ou en local de maintenance	Outillage prévu plus appareils de mesure, banc d'essai, contrôle, etc
4 ^{ème}	Travaux importants de maintenance corrective ou préventive	Équipe encadrée par un technicien spécialisé, en atelier central	Outillage général plus spécialisé, matériel d'essai, de contrôle, etc
5 ^{ème}	Travaux de rénovation, de reconstruction ou réparations importantes confiées à un atelier central	Équipe complète, polyvalente en atelier central	Moyens proches de la fabrication par le constructeur

I.12. Conclusion

La maintenance joue un rôle crucial dans la préservation et l'optimisation des performances des équipements et des systèmes. Il est essentiel de choisir le type de maintenance approprié en fonction des besoins et des objectifs spécifiques de l'entreprise. Les principales fonctions de la maintenance comprennent la planification, la préparation et l'exécution des activités de maintenance. La planification permet d'organiser de manière systématique les activités de maintenance en déterminant les tâches nécessaires, en établissant des priorités et en allouant les ressources adéquates. Une planification efficace contribue à minimiser les temps d'arrêt et à optimiser la disponibilité des équipements. La préparation de la maintenance consiste à rassembler les ressources nécessaires avant d'effectuer les activités de maintenance. Cela comprend la préparation des pièces de rechange, de l'outillage et de l'espace de travail. Une préparation adéquate permet une exécution fluide et efficace des tâches de maintenance. L'exécution de la maintenance implique la réalisation des tâches planifiées, telles que l'inspection, la réparation, la lubrification, etc. Une exécution soignée et précise garantit le bon fonctionnement des équipements et contribue à prolonger leur durée de vie.

Chapitre II : Sûreté de fonctionnement

II.1. Introduction

La sûreté de fonctionnement est un concept important dans le domaine de la maintenance et de l'ingénierie. Elle désigne la capacité d'un système, d'un équipement ou d'un processus à fonctionner de manière fiable et continue, sans défaillance ou sans provoquer d'incidents ou d'accidents.

La sûreté de fonctionnement est essentielle dans de nombreux domaines, tels que l'industrie, l'aérospatiale, l'énergie, les transports, les systèmes médicaux, etc. Elle vise à minimiser les défaillances, à prévenir les accidents et à assurer une continuité des opérations. La mise en œuvre de stratégies de maintenance préventive, la surveillance des équipements, la gestion des risques et la formation du personnel sont des aspects importants pour garantir la sûreté de fonctionnement.

II.2. Définition de la sûreté de fonctionnement

D'après AFNOR la sûreté de fonctionnement est définie comme « aptitude d'une entité à satisfaire une ou plusieurs fonctions requises dans des conditions données » [19].

La sûreté de fonctionnement est caractérisée par quatre paramètres les quelles : **Fiabilité**, **Maintenabilité**, **Disponibilité** et **Sécurité**.

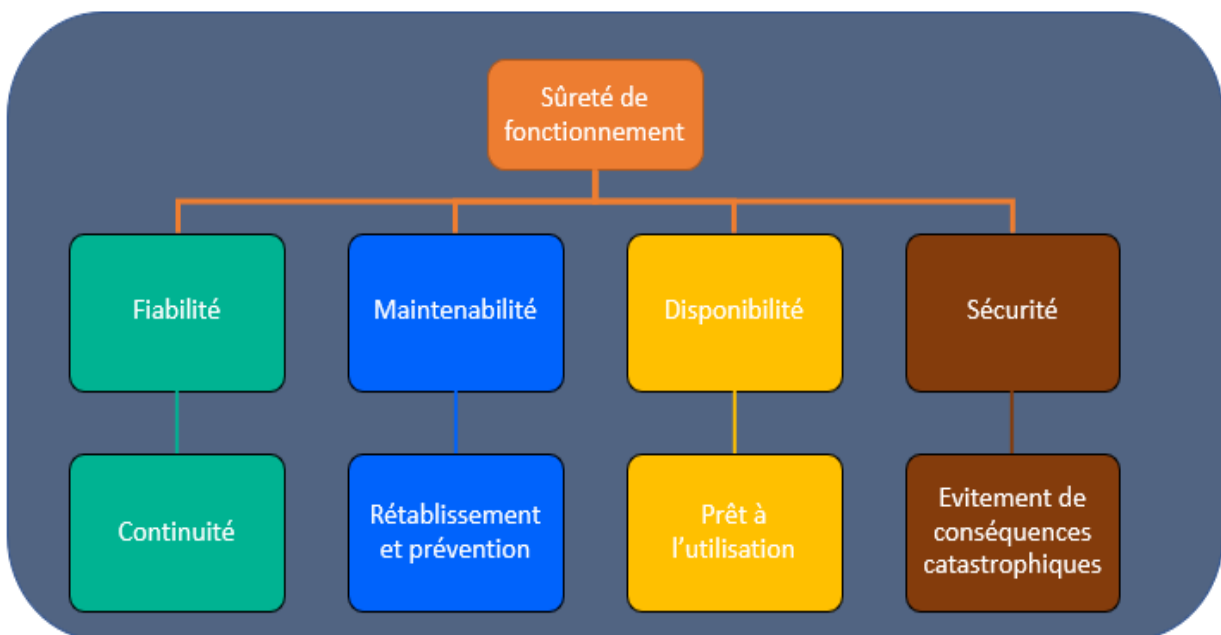


Figure II.1 : Sûreté de fonctionnement et ces paramètres.

II.3. Fiabilité

Depuis AFNOR la fiabilité est définie comme « aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise, dans des conditions données », d'une manière mathématique la fiabilité est la probabilité moyenne de non défaillance d'une entité (**E**) sur un intervalle de temps donné [20].

$$R(t) = P[E \text{ non défaillant sur } (0, t)] \quad (\text{II.1})$$

$$R(t) = P(T \geq t) \quad (\text{II.2})$$

Où : **T** est l'instant d'apparition de la première défaillance et **(0,t)** est la durée de fonctionnement de l'équipement.

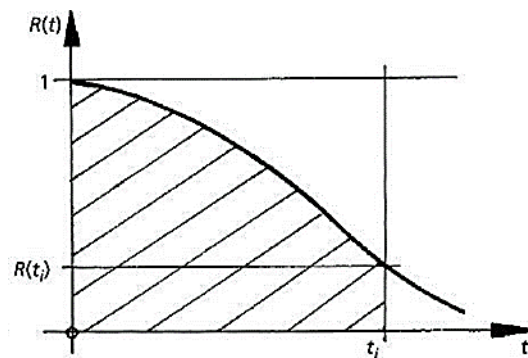


Figure II.2 : Courbe de la fonction de fiabilité R(t).

Pour la fiabilité il y a quatre types qui sont *fiabilité opérationnelle*, *fiabilité prévisionnelle*, *fiabilité extrapolée* et *fiabilité intrinsèque* [21] :

- **Fiabilité opérationnelle (observée ou estimée)** : déduite de l'analyse d'entités identiques dans les mêmes conditions opérationnelles.
- **Fiabilité prévisionnelle (prédite)** : correspondant à la fiabilité future d'un système et établie par son analyse connaissant les fiabilités de ces composants.
- **Fiabilité extrapolée** : déduite de la fiabilité opérationnelle par extrapolation ou interpolation pour des conditions ou des durées différentes.
- **Fiabilité intrinsèque (inhérente)** : correspondant à la fiabilité de chaque dispositif qui peut être évaluée séparément dans des conditions d'exploitation idéales.

II.4. Fonction de répartition

La fonction de répartition est la probabilité de défaillance d'un équipement ou d'un système, c'est la fonction complémentaire à 1 de la fonction de fiabilité, elle représente la probabilité de défaillance dans l'intervalle de temps $[0, t]$ [22].

$$F(t) = P(T \leq t) = 1 - R(t) \quad (\text{II.3})$$

$$F(t) + R(t) = 1 \quad (\text{II.4})$$

Où : T est l'instant d'apparition de la première défaillance.

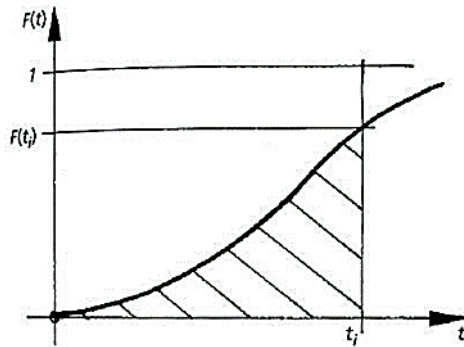


Figure II.3 : Courbe de fonction de répartition $F(t)$.

II.5. Densité de probabilité

La densité de probabilité de défaillance est la probabilité de voir le système cesser de fonctionner entre t et $t + dt$ [23].

$$f(t) = \lim_{dt \rightarrow \infty} \frac{P(t < T < t + dt)}{dt} = P(t < T < t + dt) \quad (\text{II.5})$$

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{-dR(t)}{dt} \quad (\text{II.6})$$

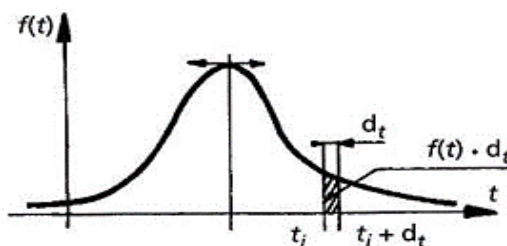


Figure II.4 : Courbe de fonction densité de probabilité $f(t)$.

II.6. Taux de défaillance

Le taux de défaillance est la probabilité conditionnelle d'avoir une défaillance dans l'intervalle de temps $[t, t+dt]$, sachant qu'il n'y a pas eu de défaillance dans l'intervalle $[0, t]$ [24].

$$\lambda(t) = \frac{p(t < T < t+dt)}{p(T \geq t)} = \frac{f(t)}{R(t)} = -\frac{1}{R(t)} \cdot \frac{dR(t)}{dt} \quad (\text{II.7})$$

Le taux de défaillance d'un matériel ou d'un composant en fonction de son âge est représenté par une courbe qui s'appelle "*Courbe en baignoire*", dans cette courbe il y a trois zone les quelles [25] :

- **Zone 1 (période de jeunesse)** : la zone où le taux de défaillance est décroissant, appelé aussi période de jeunesse dans laquelle le taux de défaillance décroît d'une manière rapide (défauts de fabrication qu'il est possible d'éliminer avant la mise en service du système).
- **Zone 2 (période de maturité)** : cette zone s'appelle la période de maturité ou le taux de défaillance est sensiblement constant, dans cette période les défauts apparaissent sans raison systématique apparemment au hasard.
- **Zone 3 (période de vieillissement)** : elle correspond à la zone où le taux de défaillance est croissant, cette période est la période de la fin de vie utile du matériel ou du composant et la période de dégradation irréversible de ces derniers.

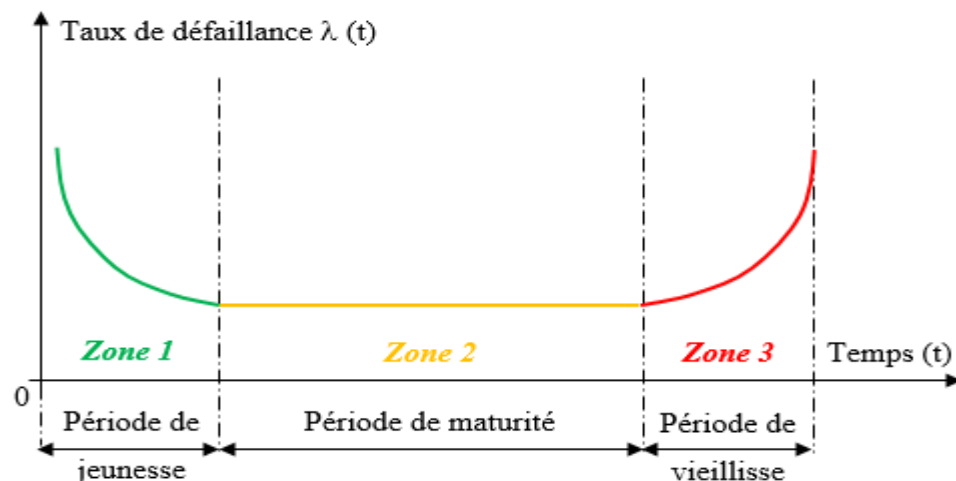


Figure II.5 : Courbe en baignoire.

II.7. Maintenabilité

AFNOR a défini la maintenabilité comme « dans des conditions données d'utilisation, aptitude d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état où il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant procédures et des moyens prescrits », mathématiquement la maintenabilité est la probabilité d'une entité (**E**) d'être réparée dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits, soit achevée au temps **t**, sachant que l'entité est défaillante au temps **t = 0** [26].

$$M(t) = P[\text{E est réparée sur } (0, t)] \quad (\text{II.8})$$

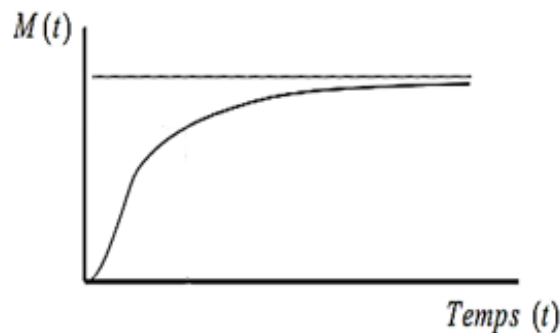


Figure II.6 : Courbe de la fonction de maintenabilité M(t).

Il existe trois types de maintenabilité les quelles *maintenabilité intrinsèque*, *maintenabilité prévisionnelle*, *maintenabilité opérationnelle* [27] :

- **Maintenabilité intrinsèque** : elle est construite dès la période de conception à partir d'un cahier des charges prenant en compte les critères de maintenabilité (modularité, accessibilité, etc).
- **Maintenabilité prévisionnelle** : elle est construite à partir de l'objectif de disponibilité.
- **Maintenabilité opérationnelle** : elle sera mesurée à partir l'historiques d'interventions.

II.8. Taux de réparation

Le taux de réparation est la probabilité conditionnelle que l'entité soit réparée dans l'intervalle **[t, t+dt]** sachant qu'elle a été en panne sur l'intervalle **[0, t]** [28].

$$\mu(t) = \frac{1}{1-M(t)} \cdot \frac{dM(t)}{dt} \quad (\text{II.9})$$

II.9. Disponibilité

Selon AFNOR, la disponibilité est définie comme suit « aptitude d'un bien à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou durant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires est assurée », elle est caractérisée par la probabilité d'une entité (**E**) d'accomplir une fonction requise dans des conditions données et à un instant **t** donné [29].

$$D(t) = P[\text{E non défaillant à l'instant (t)}] \quad (\text{II.10})$$

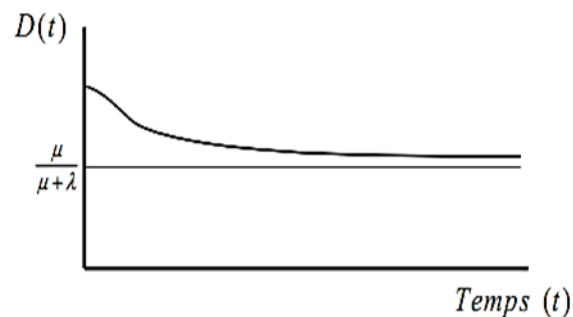


Figure II.7 : Courbe de la fonction de disponibilité $D(t)$.

Les types de disponibilité sont trois : *disponibilité intrinsèque*, *disponibilité théorique*, *disponibilité opérationnelle* [30] :

- **Disponibilité intrinsèque** : est, de par sa conception et sa réalisation, l'aptitude théorique d'un bien à accomplir un service.
- **Disponibilité théorique** : prend en considération les conditions d'environnement et de fonctionnement théoriques.
- **Disponibilité opérationnelle** : elle peut être évaluée ou mesurée à partir des données d'activité.

II.10. Sécurité

La définition de la sécurité selon AFNOR est « aptitude d'un dispositif à éviter de faire apparaître des événements critiques ou catastrophiques, dans des conditions données », elle est mesurée par la probabilité d'une entité (**E**) à éviter de faire apparaître des événements critiques ou catastrophiques, dans des conditions données, sur un intervalle de temps donné [31].

$$S(t) = P[E \text{ évite des évènements critiques ou catastrophiques sur } (0, t)] \quad (\text{II.11})$$

II.11. Indicateurs de temps de la sûreté de fonctionnement

- **MTBF (Moyenne Temps Bon Fonctionnement)**

C'est la durée moyenne entre deux défaillances successives d'une entité réparée [32].

$$\text{MTBF} = \int_0^{+\infty} t f(t) dt = \int_0^{+\infty} R(t) dt \quad (\text{II.12})$$

- **MTTR (Moyenne Temps Technique Réparation)**

C'est la durée moyenne jusqu'à la réparation d'une entité réparable [33].

$$\text{MTTR} = \int_0^{+\infty} (1 - M(t)) dt \quad (\text{II.13})$$

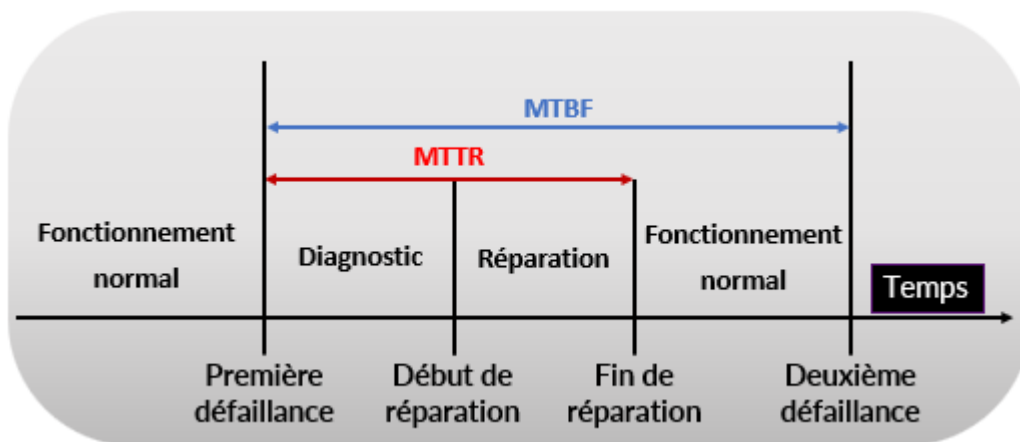


Figure II.8 : Indicateurs de temps de la sûreté de fonctionnement.

II.12. Loi de calcul de FMD

II.12.1. Fiabilité

II.12.1.1. Loi exponentielle

La loi exponentielle est une loi de distribution largement utilisée dans le domaine de maintenance, c'est une loi simple qui est caractérisée par deux paramètres le taux de défaillance λ et le taux de réparation μ qui sont constant dans celle loi [34] :

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (\text{II.14})$$

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (\text{II.15})$$

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

$$\lambda(t) = \lambda = \text{cte} \quad (\text{II.17})$$

$$\text{MTBF} = \frac{1}{\lambda} \quad (\text{II.18})$$

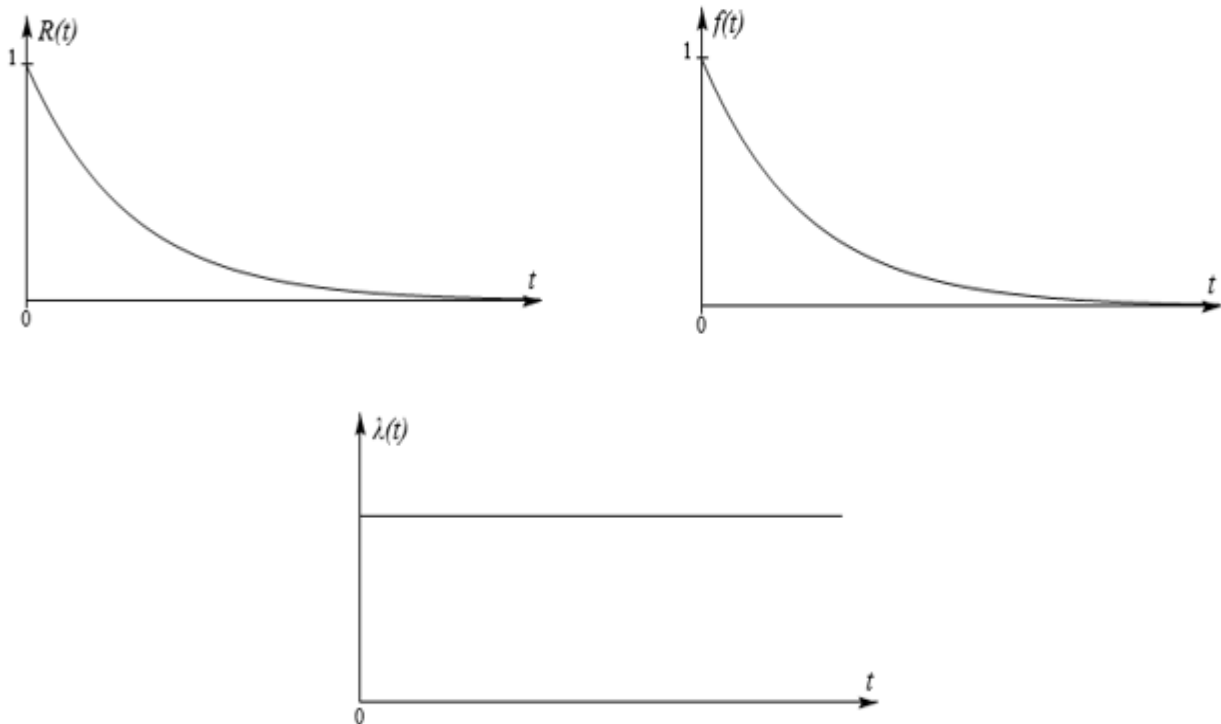


Figure II.9 : Courbes des fonctions $R(t)$, $f(t)$ et $\lambda(t)$ en loi exponentielle.

II.12.1.2. Loi WEIBULL

Cette loi est bien adaptée à l'étude statistique des défaillances, surtout dans les périodes où le taux de n 'est pas constant (périodes de jeunesse et vieillesse) et elle est utilisée dans plusieurs domaines [35] :

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{II.19})$$

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{II.20})$$

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{II.21})$$

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

$$\text{MTBF} = \gamma + \eta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) = A\eta + \gamma \quad (\text{II.23})$$

Cette loi est caractérisée par trois paramètres *le paramètre de forme β , le paramètre d'échelle η et le paramètres de position γ* :

- *Paramètre de forme β*

Le paramètre de forme β est à la source de beaucoup de confusions en fiabilité, pour ce paramètre il y a trois cas [36] :

- $\beta < 1$: le taux de défaillance est décroissant, caractéristique de la zone de jeunesse.
- $\beta = 1$: le taux de défaillance est constant, caractéristique de la zone de maturité.
- $\beta > 1$: le taux de défaillance est croissant, caractéristique de la zone de vieillesse.

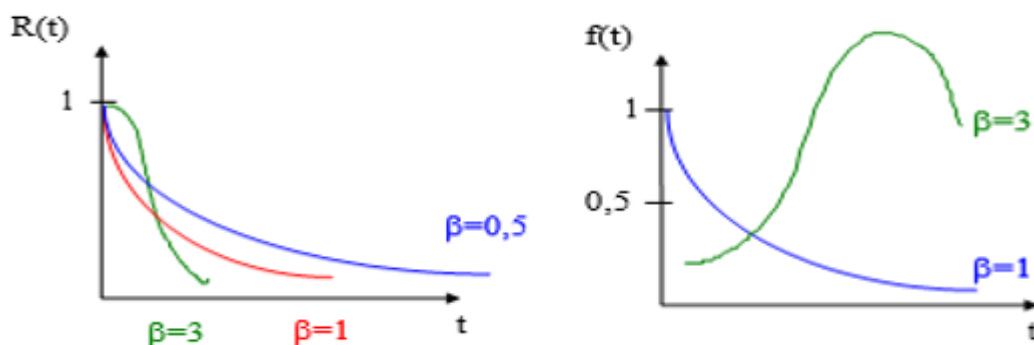


Figure II.10 : Courbes des fonctions $R(t)$, $f(t)$ en fonction de paramètre de forme β .

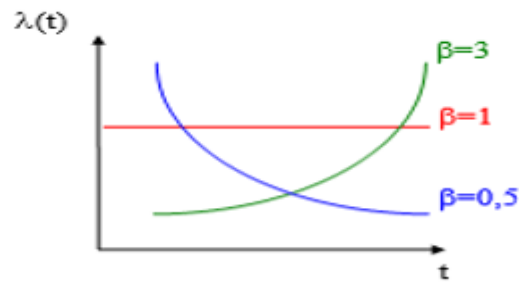


Figure II.11 : Courbe de fonctions $\lambda(t)$ en fonction de paramètre de forme β .

- **Paramètre d'échelle η**

L'influence du paramètre d'échelle η sur la fonction de densité de probabilité $f(t)$ s'exprime par la détermination de l'étendue de son étalement sur l'axe horizontal [37].

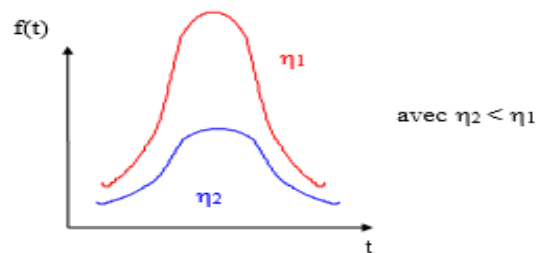


Figure II.12 : Courbe de fonction $f(t)$ en fonction de paramètre d'échelle η .

- **Paramètre de position γ**

Le paramètre de position γ permet de déterminer la date de début des défaillances [38] :

- $\gamma < 0$: les défaillances ont débuté avant l'origine du temps.
- $\gamma = 0$: les défaillances ont débuté dès l'origine du temps.
- $\gamma > 0$: survie totale sur l'intervalle de temps $[0, \gamma]$.

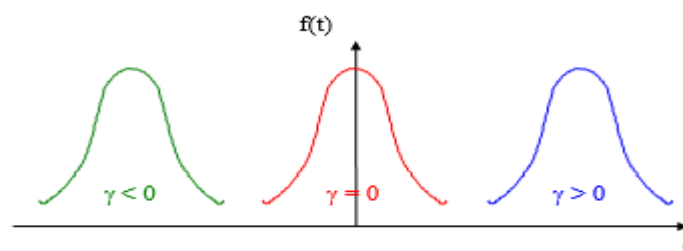


Figure II.13 : Courbe de fonction $f(t)$ en fonction de paramètre de position γ .

- **Test d'adéquation**

Avant de valider la loi WEIBULL, il faut tester l'hypothèse pour l'acceptation ou la rejection du modèle proposé par le test **KOLMOGOROV SMIRNOV**, ce test consiste à calculer l'écart entre la fonction de répartition théorique **F(i)** et la fonction de répartition réelle **F(t)** et prendre le maximum en valeur absolue **D_{n,max}** cette valeur est comparée avec **D_{n,α}** qui est donnée par le tableau de Kolmogorov Smirnov [39] :

$$D_{n,max} = |F(i) - F(t)| \quad (II.24)$$

- Si **D_{n,max} < D_{n,α}** on accepte l'hypothèse du modèle théorique.
- Si **D_{n,max} > D_{n,α}** on refuse l'hypothèse du modèle théorique.

La fonction de répartition théorique **F(i)** peut être calculé par deux méthodes **méthode des rangs médians** et **méthode des rangs moyens**.

- Si **N ≤ 20** on applique **la méthode des rangs médians**

$$F(i) = \frac{\sum ni - 0,3}{N + 0,4} \quad (II.25)$$

- Si **N > 20** on applique **la méthode des rangs moyens**

$$F(i) = \frac{\sum ni}{N + 1} \quad (II.26)$$

Où N est le nombre des pannes.

II.12.2. Maintenabilité

La maintenabilité peut être calculé par la formule suivante si **μ(t)** est constant [40] :

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad (II.27)$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \quad (II.28)$$

$$\text{MTTR} = \frac{\sum \text{TTR}}{N} \quad (\text{II.29})$$

Où N est le nombre des pannes.

II.12.3. Disponibilité

La disponibilité peut être calculé par la relation suivante si $\mu(t)$ et $\lambda(t)$ sont constants [41] :

$$\mathbf{D}(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t} \quad (\text{II.30})$$

C'est la disponibilité instantanée $\mathbf{D}(t)$.

Si le temps tend vers l'infini, on obtient la disponibilité asymptotique \mathbf{D} .

$$\mathbf{D} = \frac{\mu}{\lambda + \mu} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}} \quad (\text{II.31})$$

II.13. Méthodes d'analyse de défaillance

II.13.1. Courbe ABC

II.13.1.1. Présentation de la courbe ABC

La courbe ABC est un moyen d'analyse qui permet la classification des éléments qui représentent la fraction la plus importante du caractère étudié par l'indication des pourcentages pour un critère spécifié [42].

II.13.1.2. Objectifs de la courbe ABC

L'objectif de cette courbe est l'analyse d'un phénomène à travers une représentation graphique qui permet la détermination s'il existe une relation entre deux groupes de données, la courbe ABC permette la classification des événements selon l'enjeu qu'elles représentent, elle permette aussi la visualisation rapide des priorités d'action, le choix et la concentration sur les problèmes à attaquer en priorité. C'est un moyen simple de classification des phénomènes selon leur importance [43].

II.13.1.3. Méthodologie de la courbe ABC

Elle consiste à la classification des pannes d'une manière décroissant de coûts, puis établir un graphe faisant correspondre le pourcentage de coûts, chaque panne se rapportant à une machine ou rubrique, dans cette courbe il existe trois zones qui sont *la zone A, la zone B et la zone C* [44] :

- **Zone A** : Dans la majorité des cas, on constate qu'environ **20%** des pannes représentent **80%** de temps de panne, ceci constitue la zone A, zone des priorités.
- **Zone B** : Dans cette tranche, les **30%** des pannes suivantes c'est juste une **15%** supplémentaire de temps de panne.
- **Zone C** : Dans cette zone les **50%** des pannes restantes ne représentent qu'à **5%** de temps de panne.

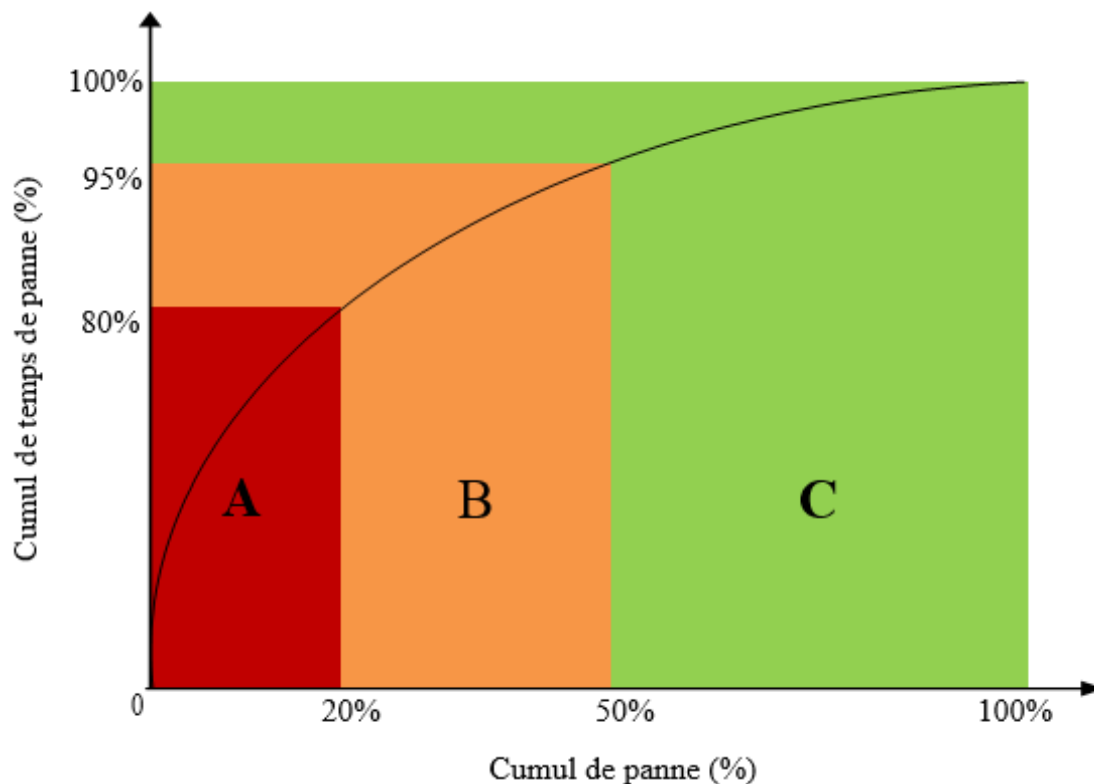


Figure II.14 : Courbe ABC.

II.13.2. Diagramme de PARETO

II.13.2.1. Présentation de diagramme de PARETO

Le diagramme de PARETO est un outil de prise de décision qui permet d'établir la répartition des causes de défaillances et leurs fréquences d'interventions et déterminer les priorités des actions et attaquer les défauts par ordre d'importance, ce diagramme se construit de la façon suivante [45] :

- *Axe des X* : On met les causes de défaillances.
- *Axe des Y* : On met les fréquences d'apparitions des défauts.

II.13.2.2. Objectifs de diagramme de PARETO

L'objectif de diagramme de PARETO est la rentabilisation des actions, cette analyse permet de ne pas laisser prendre par des travaux de très faible importance par rapport au volume des autres travaux [46].

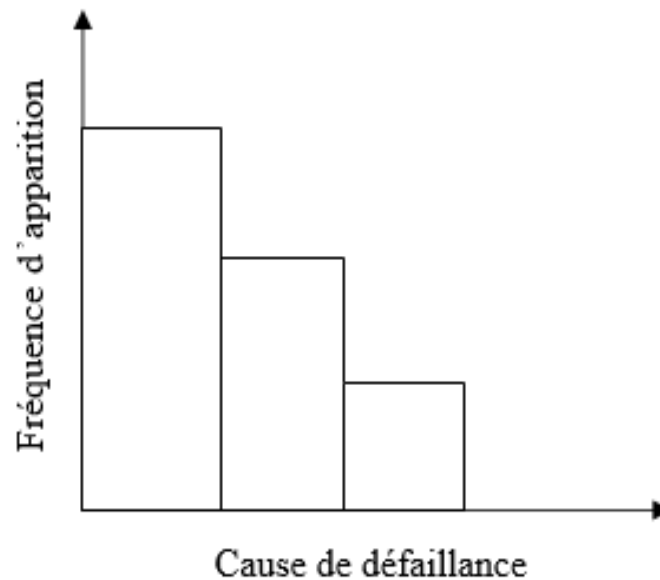


Figure II.15 : Diagramme de PARETO.

II.14. Conclusion

En effet, dans ce chapitre, nous avons abordé plusieurs paramètres clés de la sûreté de fonctionnement, qui jouent un rôle crucial dans l'évaluation et l'amélioration des performances des systèmes et des produits. Ces paramètres sont interdépendants et complémentaires. La fiabilité et la maintenabilité contribuent à assurer une disponibilité élevée des systèmes, tandis que la sécurité vise à prévenir les défaillances susceptibles de causer des dommages. L'évaluation et l'amélioration de ces paramètres permettent de garantir un fonctionnement optimal des systèmes, une utilisation sûre et une satisfaction des utilisateurs.

***Chapitre III : Présentation
de l'entreprise AGRODIV
M'SILA***

III.1. Introduction

Dans tous les pays du monde les céréales constituent la base de l'alimentation humaine en tant que source protéique et énergétique ce qui rend les industries céréalières parmi celles les plus importantes dans le marché de la production des produits alimentaires, donc la maîtrise de la production dans ces industries est essentielle pour une haute performance et une bonne qualité du produit final pour répondre aux exigences du marché de consommation. Le secteur des céréales occupe une place très importante dans l'économie algérienne car l'Algérie appartient au groupe des plus gros importateurs de blé dans le monde.

III.2. Présentation de l'entreprise

La société « AGRODIV M'SILA » est parmi les entreprises productives, qui fabrique et transfère le blé dur et le blé tendre en semoules et farines c'est une entreprise publique à caractère économique EPE/SPA. La création de cette entreprise est commencée par le montage d'ancien moulin italien (BUHLER) en 28/11/1980 le début de production est commencé le 15/04/1981 puis il y a le démarrage du nouveau moulin italien aussi (GOLFITTO) qui a commencé leur montage le 11/02/1992, selon le plan de développement 2013 une rénovation en minoterie est réalisé par le changement d'ancien moulin italien (BUHLER) par un moulin de la marque turque (MOLINO) qui a commencé leur montage en 2015. La position géographique de cette société est sur la route nationale N°45 wilaya de M'SILA.



Figure III.1 : Position géographique de l'entreprise AGRODIV M'SILA.

III.3. Capacité de production de l'entreprise

La capacité de production de l'entreprise « AGRODIV M'SILA » est de 4000 quintaux par jour pour la semoulerie (GOLFITTO) et 3000 quintaux par jour pour la minoterie (MOLINO).

III.4. Structure organisationnelle des unités de l'entreprise

La Figure si dessous illustre la structure organisationnelle des unités d'entreprise « AGRODIV M'SILA ».

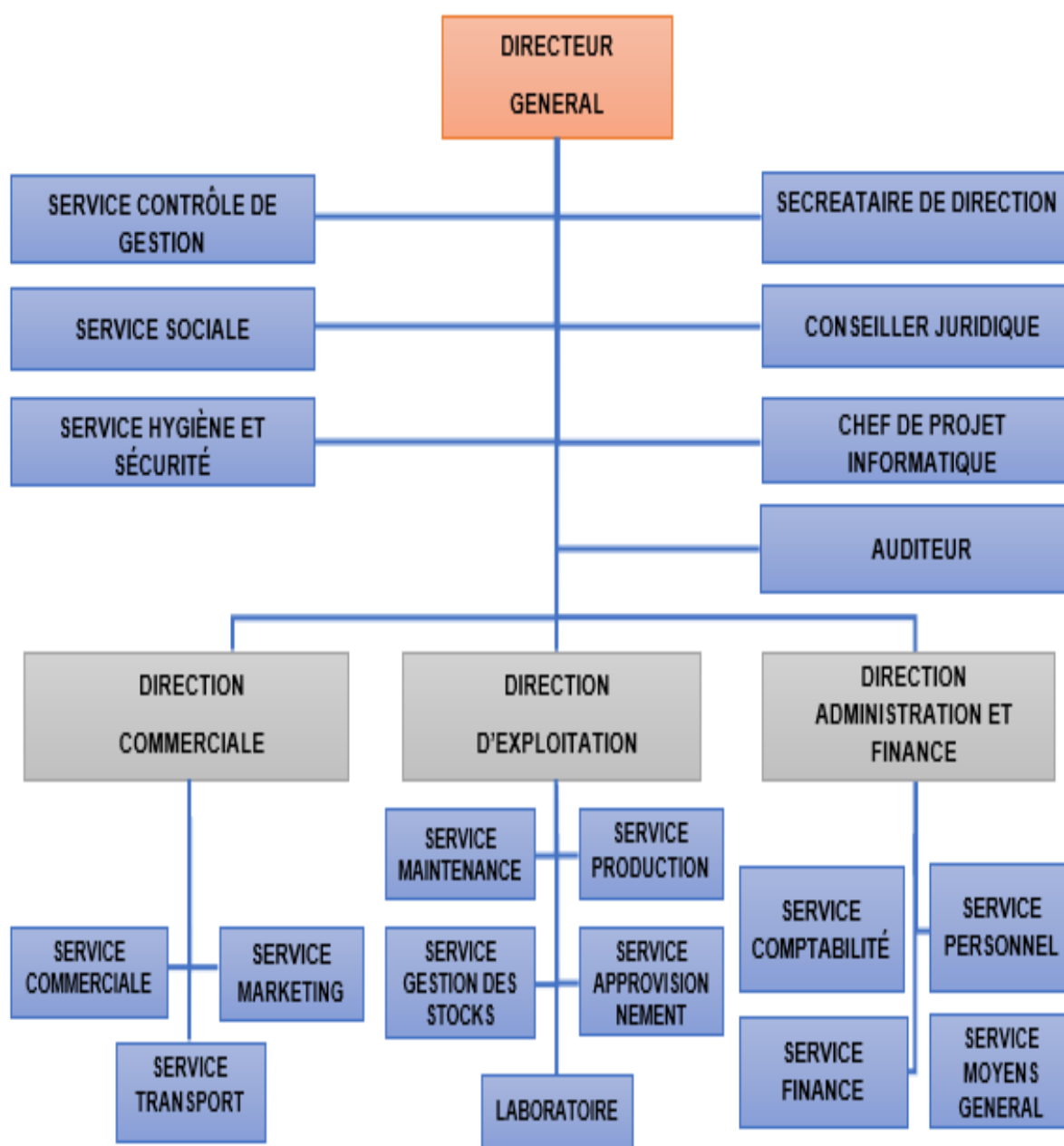


Figure III.2 : Structure organisationnelle des unités d'entreprise AGRODIV M'SILA.

III.5. Processus de production

Le processus de production de cette entreprise est basé sur la conversion des matières premières représentées par le blé solide et le blé tendre pour obtenir des produits finis tels que la semoule et la farine de toutes sortes, ainsi que l'obtention des restes de fraisage représentés par le son, et cela se fait à travers plusieurs étapes :

III.5.1. Approvisionnement interne

Ce processus est la transition de la matière première des silos de stockage du département de l'administration des stocks vers les ateliers, ce processus est continu et ne s'arrête pas sauf dans certains cas comme (défaillance des machines à broyer, réduction de la production ou manque de processus d'approvisionnement), le transfert de matières premières se fait par un convoyeur entre les silos de stockage et les unités de production.

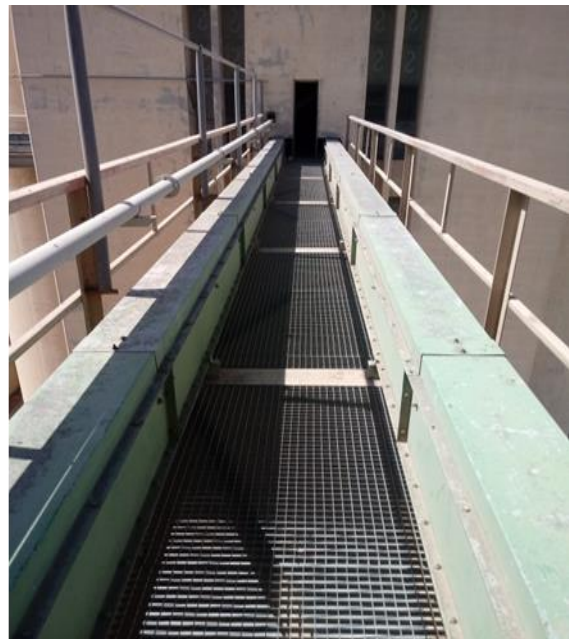


Figure III.3 : Silos de stockage et Convoyeur.

III.5.2. Pré nettoyage

Les quantités de blé passent à travers les machines pour le pré nettoyage qui purifient le blé des grands appendices et impuretés, où il y a des machines spéciales pour purifier le blé à partir de matériaux de fer, et d'autres filtrent les pierres et le gravier, et à travers cette étape le blé a enlevé la plupart des impuretés et de la saleté.



Figure III.4 : Brosse à blé.



Figure III.5 : Appareil magnétique.

III.5.3. Nettoyage

Dans cette étape, le blé est transmis par une pompe à air à un deuxième type de dispositif de nettoyage, où ces dispositifs sont caractérisés par des mouvements vibratoires de granules de blé et ont une inclinaison spécifique pour la surface transportant des quantités de blé, où les granules de blé sont roulés vers le bas, recueillis dans les magasins, et le reste des impuretés restantes du pré nettoyage sont envoyés vers le haut au panier de saleté.



Figure III.6 : Appareils de nettoyage final.

III.5.4. Ajout d'eau

Les quantités nettes de blé entreposées ont différents degrés d'humidité, ici le producteur ajoute de l'eau pour que l'humidité soit comprise entre 15 et 15.8%, ce qui est déterminé par des critères techniques, afin de faciliter le processus de broyage ultérieur, ainsi que pour aider à séparer le couver extérieur d'où proviennent les résidus de broyage, et il y a des dispositifs spéciaux qui déterminent la quantité d'eau ajoutée et d'autres pour surveiller l'humidité. Afin d'absorber l'eau ajoutée, le blé prend du temps à le faire, en plus d'augmenter l'humidité au niveau désiré. Le temps d'attente varie en fonction de la qualité du blé, où l'attente moyenne pour le blé solide est de 8 heures, tandis que le blé tendre est de 24 heures, ainsi que par l'humidité initiale de la matière allant de 7 à 10 %.



Figure III.7 : Débitmètre automatique.

III.5.5. Meulage

Dans cette étape les machines à moude cassent les grains de blé selon les exigences techniques établies par l'intérêt de production, afin de préserver le caractère céréalier du blé, ainsi que de séparer le couver extérieur de la pâte.



Figure III.8 : Appareils à cylindres.

III.5.6. Filtrage

Chaque processus de broyage a été suivi directement par un processus de filtrage, dans lequel les particules de blé cassées passent à travers une mauvaise herbe techniquement classifiée par les degrés d'ouverture et de fermeture des pores, résultant en des molécules grossières de retour au processus de broyage à nouveau, ou un matériau classifiable prêt, et les processus de broyage et de filtrage formant un anneau fermé, c.-à-d. le processus de broyage ne s'arrête pas jusqu'à ce que les molécules soient classées en matériau prêt.



Figure III.9 : Sasseur à semoule.

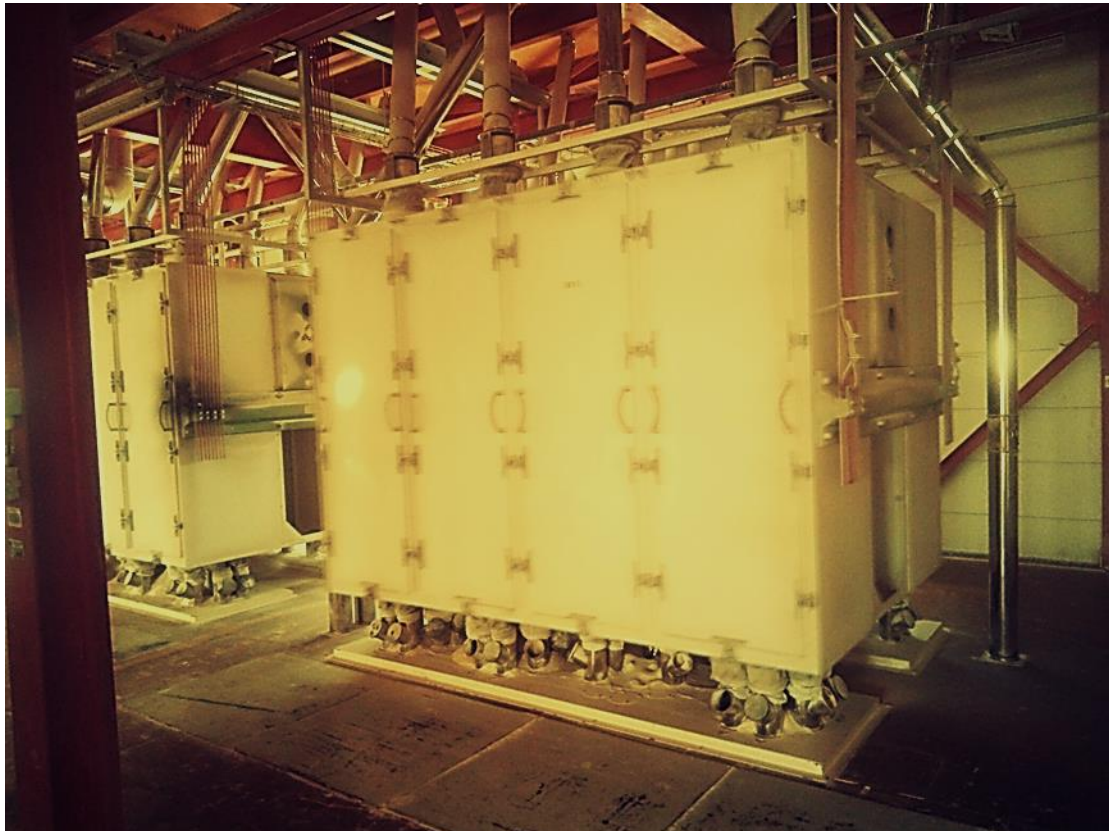


Figure III.10 : Planchister.

III.5.7. Collecte et stockage

Le processus de filtrage entraîne la classification des molécules où chaque élément traverse un type de produit, et chaque classe prend un flux particulier qui se retrouve dans des silos de stockage pour les matériaux préfabriqués.



Figure III.11 : Silos de stockage de produit fini.

III.5.8. Emballage

Après le processus de stockage dans les silos il vient le processus d'emballage, où le travailleur prépare les sacs et une fois que le sac est placé sur l'ouverture des canaux de décharge et le bouton est pressé, la décharge se fait automatiquement avec le poids spécifié, puis les sacs passent sur la machine à coudre après que l'étiquette de données du produit est placée tel que la date de production, la durée de la consommation, après le produit sorte des ateliers pour être entreposé dans des zones avec des transporteurs spéciaux, d'où le produit est prêt pour la commercialisation.

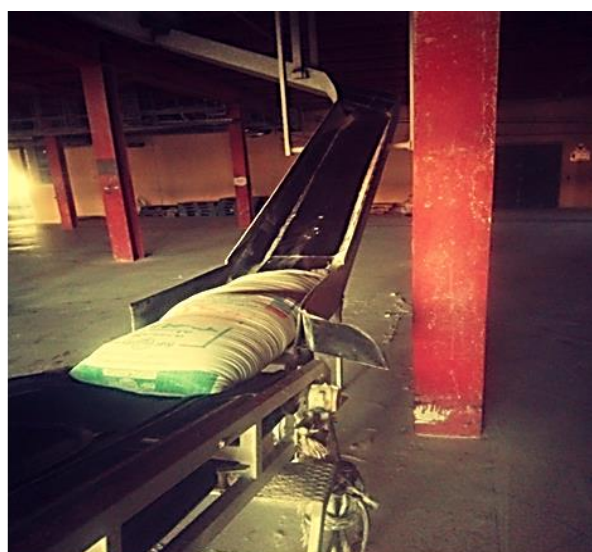


Figure III.12 : Emballage de produit fini.

III.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit l'entreprise « AGRODIV M'SILA » qui on a fait notre stage pratique. Nous avons cité la structure organisationnelle des unités de cette entreprise et aussi ses processus de production.

***Chapitre IV : Application de
l'analyse FMD sur la chaîne de
production (AGRODIV M'sila)***

IV.1. Introduction

La chaîne de production est la fondation d'usine et son cœur donc l'assurance de bon fonctionnement de ces chaînes est nécessaire et importante, dans ce chapitre nous allons faire une analyse FMD (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité) d'une chaîne de production de l'entreprise AGRODIV M'SILA afin de découvrir les problèmes et les points faibles et essayer de les traiter.

L'optimisation des paramètres de la sûreté de fonctionnement d'une chaîne de production vise à améliorer la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité des équipements afin d'optimiser les performances globales du système de production.

IV.2. Présentation de la chaîne de production

La chaîne de production qui nous avons étudiée contient quatre machines sont : *Appareil à cylindre, Elévateur, Ventilateur, Vis.*

- *Appareil à cylindre* : Les appareils à cylindres font le processus de broyage dans les moulins ces machines contiennent à l'intérieur des cylindres qui travaillent sur les grains de blé en les cassant.



Figure IV.1 : Appareil à cylindre.

- **Elévateur** : Les élévateurs est moyen de transporte des grains de blé qui le déplacent vers un point en hauteur, elle se transporte d'une manière verticale à plusieurs mètres de hauteur.



Figure IV.2 : Elévateur.

- **Ventilateur** : le ventilateur est un dispositif qui fait l'action d'aspiration, elle aspire les grains de blé afin d'envoyer aux autres machines pour accomplir le processus de production.



Figure IV.3 : Ventilateur.

- **Vis** : Comme les élévateurs le vis est moyen de transport, qui transporte les grains de blé d'un point à une autre mais cette fois d'une manière horizontale pas vertical comme les élévateurs.



Figure IV.4 : Vis.

IV.3. Historique des pannes de la chaîne de production

Au cours de notre stage pratique, on a pris l'historique des pannes de quatre machines de la chaîne de production de la société AGRODIV M'SILA pendant 2 ans.

Les tableaux suivants illustrent l'historique des pannes de l'appareil à cylindre, de l'élévateur, du ventilateur et de la vis (tableaux IV.1, IV.2, IV.3 et IV.4) :

Tableau IV.1 : Historique des pannes de l'appareil à cylindre.

N	Pannes	Dates	Temps d'arrêt (heure)
1	Changement de rouleau	15/01/2021	8
2	Changement de moteur	03/02/2021	4
3	Changement de courroie	25/03/2021	1
4	Changement de relais thermique	26/04/2021	1
5	Changement de pignon	17/05/2021	2
6	Changement de vérin pneumatique	04/06/2021	3
7	Changement de polie	12/07/2021	2
8	Changement de pompe hidrotique	02/08/2021	4
9	Changement de contacteur	30/09/2021	1
10	Changement de courroie	15/10/2021	1
11	Changement de fusible	14/11/2021	1
12	Changement de roulement	13/12/2021	2
13	Intervention électrique	29/01/2022	2
14	Changement de rouleau	19/02/2022	8
15	Changement de disjoncteur	11/03/2022	1

16	Réparation d'alimentation	21/04/2022	4
17	Intervention électromécanique	18/05/2022	2
18	Changement de relais thermique	16/06/2022	1
19	Réglage van d'alimentation	22/07/2022	2
20	Changement de moteur	20/08/2022	4
21	Changement de roulement	07/09/2022	2
22	Changement de pignon	27/10/2022	2
23	Changement de contacteur	24/11/2022	1
24	Changement de polie	28/12/2022	2

Tableau IV.2 : Historique des pannes de l'élèveateur.

N	Pannes	Dates	Temps d'arrêt (heure)
1	Réparation de réducteur	18/01/2021	2
2	Réparation de glaffit de moteur	13/02/2021	3
3	Réparation de sangle	11/03/2021	4
4	Changement de réducteur	14/04/2021	4
5	Changement d'axe	07/05/2021	4
6	Changement de motoréducteur	23/06/2021	4
7	Changement de sangle	28/07/2021	8
8	Changement de roulement	19/08/2021	2
9	Changement glaffit de moteur	10/09/2021	3
10	Changement d'accouplement	24/10/2021	4

11	Changement de palier	22/11/2021	3
12	Intervention électrique	25/12/2021	2
13	Changement de réducteur	12/01/2022	4
14	Réglage table de motoréducteur	21/02/2022	3
15	Réglage de sangle	16/03/2022	3
16	Changement d'axe	17/04/2022	4
17	Changement de roulement	26/05/2022	2
18	Changement de motoréducteur	20/06/2022	4
19	Changement d'accouplement	15/07/2022	4
20	Changement de sangle	27/08/2022	8
21	Changement de palier	29/09/2022	3
22	Changement glaffit de moteur	30/10/2022	3
23	Intervention mécanique	19/11/2022	3
24	Réglage table de motoréducteur	06/12/2022	3

Tableau IV.3 : Historique des pannes de ventilateur.

N	Pannes	Dates	Temps d'arrêt (heure)
1	Changement de courroie	16/01/2021	1
2	Changement de relais thermique	13/02/2021	1
3	Changement de roulement	12/03/2021	2
4	Changement d'accouplement	30/04/2021	2
5	Changement de moteur	17/05/2021	4

6	Changement de disjoncteur	23/06/2021	1
7	Changement sortie de ventilateur	26/07/2021	4
8	Changement de courroie	24/08/2021	1
9	Changement de fusible	11/09/2021	1
10	Intervention mécanique	07/10/2021	3
11	Changement de relais thermique	09/11/2021	1
12	Changement turbine de ventilateur	10/12/2021	8
13	Changement de contacteur	27/01/2022	1
14	Changement d'accouplement	18/02/2022	2
15	Changement de disjoncteur	25/03/2022	1
16	Changement de roulement	21/04/2022	2
17	Changement de ventilateur	28/05/2022	8
18	Changement de moteur	29/06/2022	4
19	Changement de courroie	20/07/2022	1
20	Changement de contacteur	19/08/2022	1
21	Réglage du câblage de moteur	22/09/2022	2
22	Changement de fusible	15/10/2022	1
23	Changement turbine de ventilateur	10/11/2022	8
24	Changement d'accouplement	14/12/2022	2

Tableau IV.4 : Historique des pannes de la vis.

N	Pannes	Dates	Temps d'arrêt (heure)
1	Soudage de plongeur de vis	06/01/2021	8
2	Changement de motoréducteur	07/02/2021	2
3	Changement d'accouplement	09/03/2021	2
4	Changement de moteur	25/04/2021	2
5	Changement de palier	10/05/2021	2
6	Changement de relais thermique	10/06/2021	1
7	Intervention mécanique	14/07/2021	4
8	Changement de pignon	06/08/2021	2
9	Changement d'accouplement	09/09/2021	2
10	Changement de moteur	01/10/2021	2
11	Changement de palier	18/11/2021	2
12	Raccordement d'axe de vis	10/12/2021	2
13	Changement de disjoncteur	23/01/2022	1
14	Changement de motoréducteur	21/02/2022	2
15	Changement de statuer	10/03/2022	1
16	Soudage de plongeur de vis	17/04/2022	8
17	Changement de pignon	19/05/2022	2
18	Changement de Contacteur	09/06/2022	1
19	Changement de relais thermique	11/07/2022	1
20	Changement d'accouplement	15/08/2022	2

21	Changement de moteur	16/09/2022	2
22	Changement de palier	04/10/2022	2
23	Changement de disjoncteur	20/11/2022	1
24	Réglage de moteur	24/12/2022	2

IV.4. Etude FMD de la chaîne de production

L'étude FMD (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité) est une approche analytique utilisée pour évaluer l'état et la performance des machines dans une chaîne de production. Elle permet d'obtenir une vision globale de la fiabilité des machines, de leur capacité à être maintenues et réparées, ainsi que de leur disponibilité pour fonctionner lorsque cela est requis.

Pour réaliser une étude FMD, il est courant d'utiliser des méthodes telles que l'analyse des données de pannes passées, l'établissement de courbes de défaillance, l'analyse des temps de réparation et de la durée des arrêts de production. Ces informations peuvent être utilisées pour évaluer la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité des machines, et pour identifier les domaines nécessitant des améliorations. Dans la suite, on va évaluer la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité des quatre machines à travers de leurs historiques de panne.

IV.4.1. Fiabilité

Parfait, commençons par l'étude de la fiabilité de l'appareil à cylindre, de l'élévateur, du ventilateur et de la vis dans le cadre de l'analyse FMD. L'objectif de cette étude est d'évaluer les probabilités de fonctionnement des quatre machines pendant une période donnée.

Pour calculer la fiabilité de l'appareil à cylindre, de l'élévateur, du ventilateur et de la vis on commence par le calcul de leurs TBF, les tableaux suivants présentent les temps de bon fonctionnement de quatre machines (tableaux IV.5, IV.6, IV.7 et IV.8).

Tableau IV.5 : Temps de bon fonctionnement de l'appareil à cylindre (TBF).

N	Dates	Temps d'arrêt (heure)	TBF (heure)
1	15/01/2021	8	424
2	03/02/2021	4	1244
3	25/03/2021	1	743
4	26/04/2021	1	503
5	17/05/2021	2	406
6	04/06/2021	3	909
7	12/07/2021	2	478
8	02/08/2021	4	1388
9	30/09/2021	1	359
10	15/10/2021	1	695
11	14/11/2021	1	695
12	13/12/2021	2	1102
13	29/01/2022	2	478
14	19/02/2022	8	520
15	11/03/2022	1	959
16	21/04/2022	4	644
17	18/05/2022	2	670
18	16/06/2022	1	863
19	22/07/2022	2	670
20	20/08/2022	4	404

21	07/09/2022	2	1198
22	27/10/2022	2	646
23	24/11/2022	1	815
24	28/12/2022	2	

Tableau IV.6 : Temps de bon fonctionnement de l'élevateur (TBF).

N	Dates	Temps d'arrêt (heure)	TBF (heure)
1	18/01/2021	2	598
2	13/02/2021	3	669
3	11/03/2021	4	788
4	14/04/2021	4	548
5	07/05/2021	4	1100
6	23/06/2021	4	836
7	28/07/2021	8	496
8	19/08/2021	2	502
9	10/09/2021	3	1053
10	24/10/2021	4	668
11	22/11/2021	3	789
12	25/12/2021	2	406
13	12/01/2022	4	932
14	21/02/2022	3	597
15	16/03/2022	3	741

16	17/04/2022	4	932
17	26/05/2022	2	574
18	20/06/2022	4	596
19	15/07/2022	4	1004
20	27/08/2022	8	760
21	29/09/2022	3	741
22	30/10/2022	3	453
23	19/11/2022	3	405
24	06/12/2022	3	

Tableau IV.7 : Temps de bon fonctionnement de ventilateur (TBF).

N	Dates	Temps d'arrêt (heure)	TBF (heure)
1	16/01/2021	1	647
2	13/02/2021	1	695
3	12/03/2021	2	1150
4	30/04/2021	2	406
5	17/05/2021	4	860
6	23/06/2021	1	791
7	26/07/2021	4	668
8	24/08/2021	1	407
9	11/09/2021	1	623
10	07/10/2021	3	765

11	09/11/2021	1	743
12	10/12/2021	8	1120
13	27/01/2022	1	503
14	18/02/2022	2	886
15	25/03/2022	1	623
16	21/04/2022	2	886
17	28/05/2022	8	736
18	29/06/2022	4	500
19	20/07/2022	1	695
20	19/08/2022	1	791
21	22/09/2022	2	550
22	15/10/2022	1	599
23	10/11/2022	8	808
24	14/12/2022	2	

Tableau IV.8 : Temps de bon fonctionnement de la vis (TBF).

N	Dates	Temps d'arrêt (heure)	TBF (heure)
1	06/01/2021	8	736
2	07/02/2021	2	766
3	09/03/2021	2	1102
4	25/04/2021	2	358
5	10/05/2021	2	718
6	10/06/2021	1	815

7	14/07/2021	4	524
8	06/08/2021	2	790
9	09/09/2021	2	526
10	01/10/2021	2	1126
11	18/11/2021	2	526
12	10/12/2021	2	1030
13	23/01/2022	1	671
14	21/02/2022	2	454
15	10/03/2022	1	887
16	17/04/2022	8	760
17	19/05/2022	2	478
18	09/06/2022	1	767
19	11/07/2022	1	815
20	15/08/2022	2	742
21	16/09/2022	2	430
22	04/10/2022	2	1102
23	20/11/2022	1	815
24	24/12/2022	2	

IV.4.1.1. Calcul des paramètres de la loi de WEIBULL pour les quatre machines

Les TBF des tableaux IV.5, IV.6, IV.7 et IV.8 nous permettent de calculer les paramètres de la loi WEIBULL par l'utilisation du logiciel Minitab 18 (voir les figures IV.5, IV.6 IV.7 et IV.8).

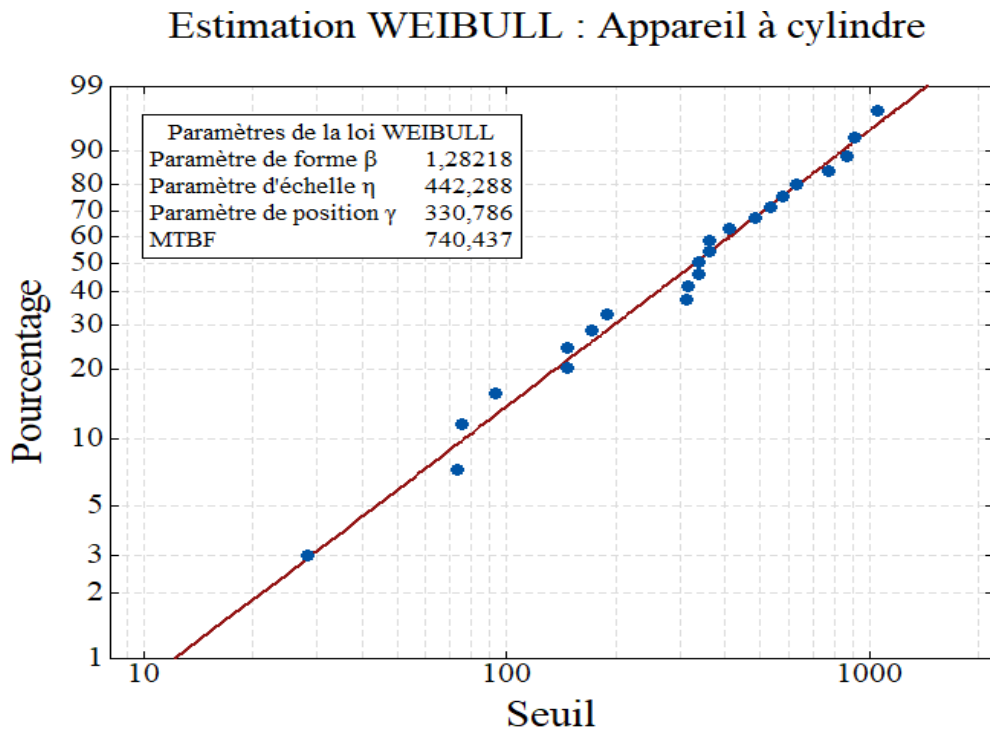


Figure IV.5 : Paramètres de la loi WEIBULL de l'appareil à cylindre par l'utilisation du logiciel Minitab 18.

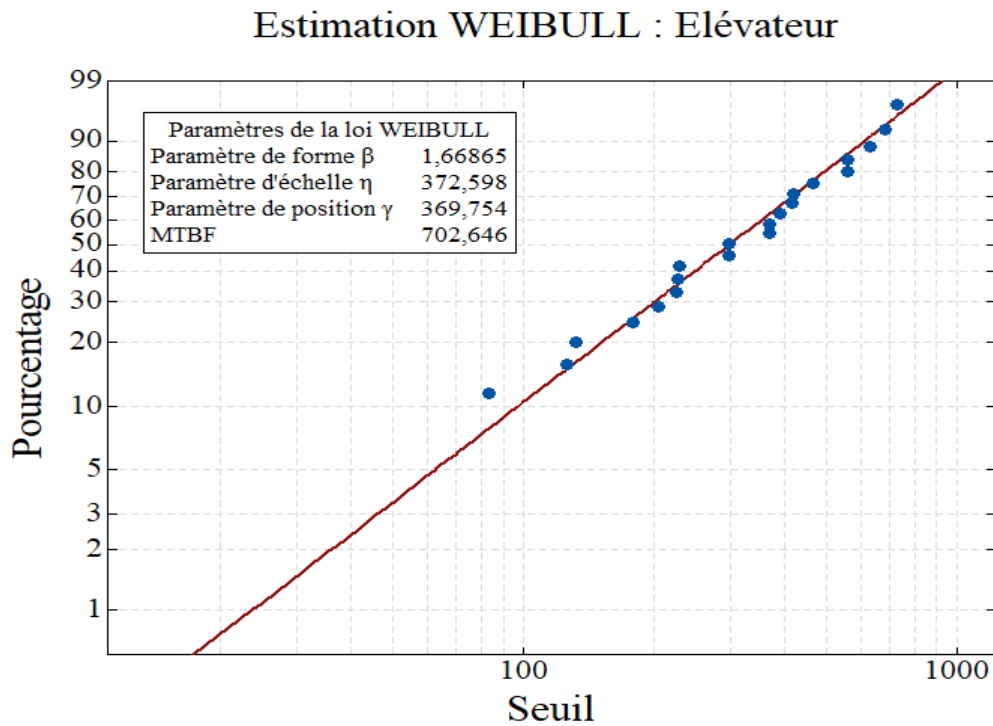


Figure IV.6 : Paramètres de la loi WEIBULL de l'élévateur par l'utilisation du logiciel Minitab 18.

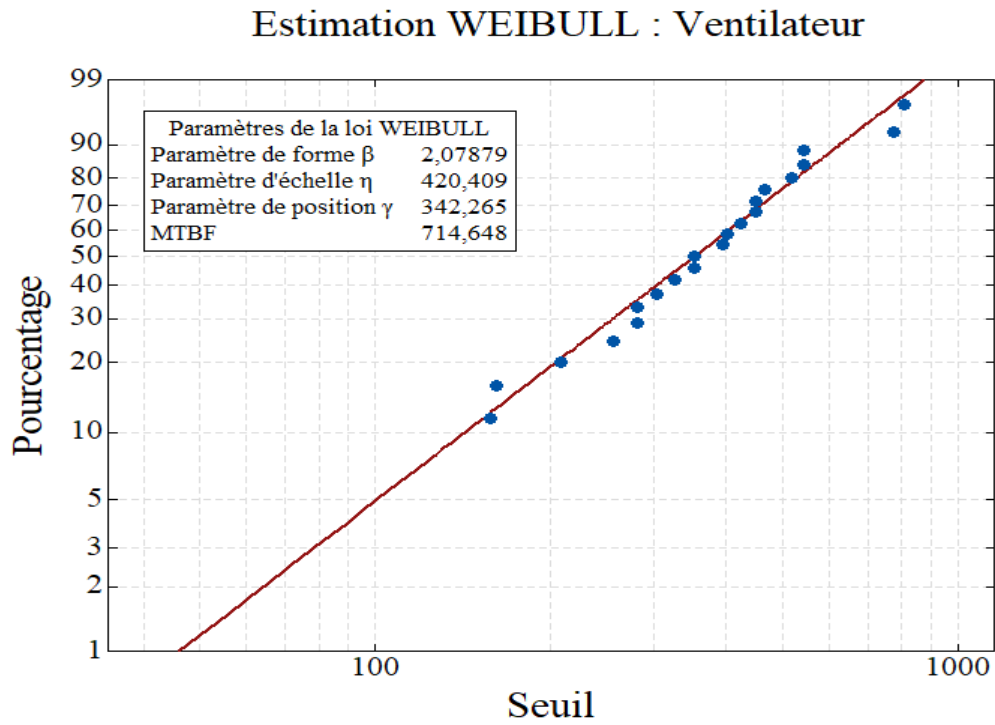


Figure IV.7 : Paramètres de la loi WEIBULL de ventilateur par l'utilisation du logiciel Minitab 18.

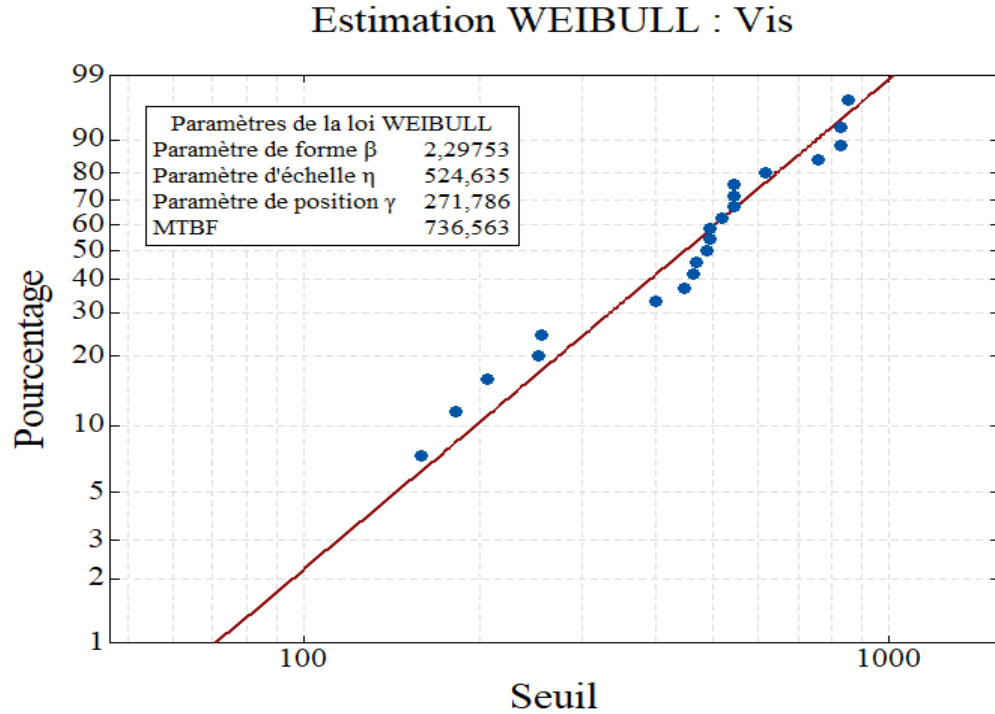


Figure IV.8 : Paramètres de la loi WEIBULL de la vis par l'utilisation du logiciel Minitab 18.

IV.4.1.2. Test (KOLMOGOROV SMIRNOV) pour les quatre machines

Le test de Kolmogorov-Smirnov est utilisé pour comparer la distribution empirique des données observées à une distribution théorique. Dans notre cas, le nombre des TBF de l'appareil à cylindre, de l'élévateur, du ventilateur et de la vis sont supérieurs à 20, la loi des rangs moyens est utilisée pour calculer la fonction de répartition théorique et les paramètres de la loi de WEIBULL calculés précédemment pour les quatre machines permettent de calculer la fonction de répartition réelle. Les tableaux suivants montrent les tests KOLMOGOROV SMIRNOV de l'appareil à cylindre, de l'élévateur, du ventilateur et de la vis (tableaux IV.9, IV.10, IV.11 et IV.12) :

Tableau IV.9 : Test KOLMOGOROV SMIRNOV de l'appareil à cylindre.

N	TBF (heure)	F(i)	F(t)	Dn
1	359	0,0417	0,0289	0,0128
2	404	0,0833	0,0948	0,0115
3	406	0,125	0,098	0,027
4	424	0,1667	0,127	0,0397
5	478	0,2083	0,2165	0,0082
6	478	0,25	0,2165	0,0335
7	503	0,2917	0,258	0,0337
8	520	0,3333	0,2858	0,0475
9	644	0,375	0,474	0,099
10	646	0,4167	0,4768	0,0601
11	670	0,4583	0,5092	0,0508
12	670	0,5	0,5092	0,0092
13	695	0,5417	0,5414	0,0003
14	695	0,5833	0,5414	0,0419

→ D_{n.max}

15	743	0,625	0,5989	0,0261
16	815	0,6667	0,6747	0,0081
17	863	0,7083	0,7186	0,0102
18	909	0,75	0,7559	0,0059
19	959	0,7917	0,7916	0,0001
20	1102	0,8333	0,87	0,0366
21	1198	0,875	0,9066	0,0316
22	1244	0,9167	0,9206	0,004
23	1388	0,9583	0,953	0,0054

D'après le tableau IV.9, on a $D_{n, \max} = D_{9, \max} = 0,099$, on prend le paramètre de signification $\alpha = 5\%$ et d'après le [tableau du test KOLMOGOROV SMIRNOV](#), $D_{n, \alpha} = D_{9, 0.05} = 0,43$. On voit que $D_{n, \max} < D_{n, \alpha}$ alors la loi de WEIBULL est acceptée.

Tableau IV.10 : Test KOLMOGOROV SMIRNOV de l'élèveur.

N	TBF (heure)	F(i)	F(t)	Dn
1	405	0,0417	0,0194	0,0223
2	406	0,0833	0,0203	0,0631
3	453	0,125	0,0787	0,0463
4	496	0,1667	0,1515	0,0151
5	502	0,2083	0,1627	0,0456
6	548	0,25	0,2534	0,0034
7	574	0,2917	0,307	0,0153

8	596	0,3333	0,3527	0,0194
9	597	0,375	0,3548	0,0202
10	598	0,4167	0,3569	0,0598
11	668	0,4583	0,4983	0,04
12	669	0,5	0,5002	0,0002
13	741	0,5417	0,6299	0,0882
14	741	0,5833	0,6299	0,0466
15	760	0,625	0,6605	0,0355
16	788	0,6667	0,7026	0,0359
17	789	0,7083	0,704	0,0043
18	836	0,75	0,7663	0,0163
19	932	0,7917	0,8629	0,0712
20	932	0,8333	0,8629	0,0295
21	1004	0,875	0,9119	0,0369
22	1053	0,9167	0,9361	0,0194
23	1100	0,9583	0,9537	0,0046

→ $D_{n,max}$

D'après le tableau IV.10, on a $D_{n, \max} = D_{13, \max} = 0,0882$, on prend le paramètre de signification $\alpha = 5\%$ et d'après le [tableau du test KOLMOGOROV SMIRNOV](#), $D_{n,\alpha} = D_{13,0.05} = 0,3614$. On voit que $D_{n,max} < D_{n,\alpha}$ alors la loi de WEIBULL est acceptée.

Tableau IV.11 : Test KOLMOGOROV SMIRNOV de ventilateur.

N	TBF (heure)	F(i)	F(t)	Dn
1	406	0,0417	0,0196	0,022
2	407	0,0833	0,0203	0,0631
3	500	0,125	0,1222	0,0028
4	503	0,1667	0,1267	0,0399
5	550	0,2083	0,2062	0,0021
6	599	0,25	0,3014	0,0514
7	623	0,2917	0,3508	0,0591
8	623	0,3333	0,3508	0,0174
9	647	0,375	0,4009	0,0259
10	668	0,4167	0,4448	0,0281
11	695	0,4583	0,5006	0,0423
12	695	0,5	0,5006	0,0006
13	736	0,5417	0,5821	0,0405
14	743	0,5833	0,5955	0,0122
15	765	0,625	0,6363	0,0113
16	791	0,6667	0,6818	0,0152
17	791	0,7083	0,6818	0,0265
18	808	0,75	0,7098	0,0402
19	860	0,7917	0,786	0,0057
20	886	0,8333	0,8186	0,0147

→ D_{n,max}

21	886	0,875	0,8186	0,0564
22	1120	0,9167	0,9725	0,0558
23	1150	0,9583	0,9795	0,0211

D'après le tableau IV.11, on a $D_{n, \max} = D_{2, \max} = 0,0631$, on prend le paramètre de signification $\alpha = 5\%$ et d'après le [tableau du test KOLMOGOROV SMIRNOV](#), $D_{n,\alpha} = D_{2,0.05} = 0,8419$. On voit que $D_{n,\max} < D_{n,\alpha}$ alors la loi de WEIBULL est acceptée.

Tableau IV.12 : Test KOLMOGOROV SMIRNOV de la vis.

N	TBF (heure)	F(i)	F(t)	Dn
1	358	0,0417	0,0157	0,026
2	430	0,0833	0,0617	0,0217
3	454	0,125	0,0843	0,0407
4	478	0,1667	0,1104	0,0562
5	524	0,2083	0,1696	0,0387
6	526	0,25	0,1724	0,0776
7	526	0,2917	0,1724	0,1192
8	671	0,3333	0,4136	0,0803
9	718	0,375	0,4981	0,1231
10	736	0,4167	0,5299	0,1133
11	742	0,4583	0,5405	0,0821
12	760	0,5	0,5716	0,0716
13	766	0,5417	0,5818	0,0401

→ $D_{n,\max}$

14	767	0,5833	0,5835	0,0001
15	790	0,625	0,6217	0,0033
16	815	0,6667	0,6615	0,0052
17	815	0,7083	0,6615	0,0468
18	815	0,75	0,6615	0,0885
19	887	0,7917	0,7635	0,0282
20	1030	0,8333	0,9027	0,0694
21	1102	0,875	0,9433	0,0683
22	1102	0,9167	0,9433	0,0267
23	1126	0,9583	0,9533	0,005

D'après le tableau IV.12, on a $D_{n, \max} = D_{9, \max} = 0,1231$, on prend le paramètre de signification $\alpha = 5\%$ et d'après le [tableau du test KOLMOGOROV SMIRNOV](#), $D_{n,\alpha} = D_{9,0.05} = 0,43$. On voit que $D_{n,\max} < D_{n,\alpha}$ alors la loi de WEIBULL est acceptée.

IV.4.1.3. Calcul des fonctions F(t), R(t), f(t) et $\lambda(t)$ pour les quatre machines

Les tableaux ci-dessous illustrent le calcul des fonctions F(t), R(t), f(t) et $\lambda(t)$ pour l'appareil à cylindre, de l'élévateur, du ventilateur et de la vis (tableaux IV.13, IV.14, IV.15 et IV.16).

Tableau IV.13 : Calcul des fonctions F(t), R(t), f(t) et $\lambda(t)$ de l'appareil à cylindre.

N	TBF (heure)	F(t) (%)	R(t) (%)	f(t)	$\lambda(t)$
1	359	02,89	97,11	$1,2948 \times 10^{-3}$	$1,3334 \times 10^{-3}$
2	404	09,48	90,52	$1,5796 \times 10^{-3}$	$1,7451 \times 10^{-3}$
3	406	09,80	90,20	$1,5861 \times 10^{-3}$	$1,7584 \times 10^{-3}$

4	424	12,70	87,30	$1,6309 \times 10^{-3}$	$1,8682 \times 10^{-3}$
5	478	21,65	78,35	$1,6651 \times 10^{-3}$	$2,1253 \times 10^{-3}$
6	478	21,65	78,35	$1,6651 \times 10^{-3}$	$2,1253 \times 10^{-3}$
7	503	25,80	74,20	$1,6484 \times 10^{-3}$	$2,2215 \times 10^{-3}$
8	520	28,58	71,42	$1,6292 \times 10^{-3}$	$2,2813 \times 10^{-3}$
9	644	47,40	52,60	$1,3834 \times 10^{-3}$	$2,6300 \times 10^{-3}$
10	646	47,68	52,32	$1,3786 \times 10^{-3}$	$2,6347 \times 10^{-3}$
11	670	50,92	49,08	$1,3203 \times 10^{-3}$	$2,6899 \times 10^{-3}$
12	670	50,92	49,08	$1,3203 \times 10^{-3}$	$2,6899 \times 10^{-3}$
13	695	54,14	45,86	$1,2586 \times 10^{-3}$	$2,7444 \times 10^{-3}$
14	695	54,14	45,86	$1,2586 \times 10^{-3}$	$2,7444 \times 10^{-3}$
15	743	59,89	40,11	$1,1398 \times 10^{-3}$	$2,8420 \times 10^{-3}$
16	815	67,47	32,53	$9,6734 \times 10^{-4}$	$2,9741 \times 10^{-3}$
17	863	71,86	28,14	$8,5964 \times 10^{-4}$	$3,0545 \times 10^{-3}$
18	909	75,59	24,41	$7,6336 \times 10^{-4}$	$3,1268 \times 10^{-3}$
19	959	79,16	20,84	$6,6709 \times 10^{-4}$	$3,2008 \times 10^{-3}$
20	1102	87	13	$4,4103 \times 10^{-4}$	$3,3915 \times 10^{-3}$
21	1198	90,66	09,34	$3,2737 \times 10^{-4}$	$3,5057 \times 10^{-3}$
22	1244	92,06	07,94	$2,8237 \times 10^{-4}$	$3,5572 \times 10^{-3}$
23	1388	95,30	4,7	$1,7439 \times 10^{-4}$	$3,7072 \times 10^{-3}$

Tableau IV.14 : Calcul des fonctions F(t), R(t), f(t) et $\lambda(t)$ de l'élévateur.

N	TBF (heure)	F(t) (%)	R(t) (%)	f(t)	$\lambda(t)$
1	405	01,94	98,06	$9,0749 \times 10^{-4}$	$9,2540 \times 10^{-4}$
2	406	02,03	97,97	$9,2376 \times 10^{-4}$	$9,4288 \times 10^{-4}$
3	453	07,87	92,13	$1,5146 \times 10^{-3}$	$1,6440 \times 10^{-3}$
4	496	15,15	84,85	$1,8428 \times 10^{-3}$	$2,1719 \times 10^{-3}$
5	502	16,27	83,73	$1,8759 \times 10^{-3}$	$2,2404 \times 10^{-3}$
6	548	25,34	74,66	$2,0423 \times 10^{-3}$	$2,7353 \times 10^{-3}$
7	574	30,70	69,30	$2,0763 \times 10^{-3}$	$2,9961 \times 10^{-3}$
8	596	35,27	64,73	$2,0766 \times 10^{-3}$	$3,2082 \times 10^{-3}$
9	597	35,48	64,52	$2,0760 \times 10^{-3}$	$3,2177 \times 10^{-3}$
10	598	35,69	64,31	$2,0754 \times 10^{-3}$	$3,2271 \times 10^{-3}$
11	668	49,83	50,17	$1,9361 \times 10^{-3}$	$3,8592 \times 10^{-3}$
12	669	50,02	49,98	$1,9330 \times 10^{-3}$	$3,8678 \times 10^{-3}$
13	741	62,99	37,01	$1,6535 \times 10^{-3}$	$4,4677 \times 10^{-3}$
14	741	62,99	37,01	$1,6535 \times 10^{-3}$	$4,4677 \times 10^{-3}$
15	760	66,05	33,95	$1,5682 \times 10^{-3}$	$4,6193 \times 10^{-3}$
16	788	70,26	29,74	$1,4389 \times 10^{-3}$	$4,8384 \times 10^{-3}$
17	789	70,40	29,60	$1,4342 \times 10^{-3}$	$4,8461 \times 10^{-3}$
18	836	76,63	23,37	$1,2159 \times 10^{-3}$	$5,2030 \times 10^{-3}$
19	932	86,29	13,71	$8,0859 \times 10^{-4}$	$5,8969 \times 10^{-3}$
20	932	86,29	13,71	$8,0859 \times 10^{-4}$	$5,8969 \times 10^{-3}$

21	1004	91,19	08,81	$5,6304 \times 10^{-4}$	$6,3917 \times 10^{-3}$
22	1053	93,61	06,39	$4,2919 \times 10^{-4}$	$6,7178 \times 10^{-3}$
23	1100	95,37	04,63	$3,2488 \times 10^{-4}$	$7,0234 \times 10^{-3}$

Tableau IV.15 : Calcul des fonctions F(t), R(t), f(t) et $\lambda(t)$ de ventilateur.

N	TBF (heure)	F(t) (%)	R(t) (%)	f(t)	$\lambda(t)$
1	406	01,96	98,04	$6,3346 \times 10^{-4}$	$6,4613 \times 10^{-4}$
2	407	02,03	97,97	$6,4376 \times 10^{-4}$	$6,5707 \times 10^{-4}$
3	500	12,22	87,78	$1,5075 \times 10^{-3}$	$1,7174 \times 10^{-3}$
4	503	12,67	87,33	$1,5305 \times 10^{-3}$	$1,7526 \times 10^{-3}$
5	550	20,62	79,38	$1,8346 \times 10^{-3}$	$2,3113 \times 10^{-3}$
6	599	30,14	69,86	$2,0290 \times 10^{-3}$	$2,9046 \times 10^{-3}$
7	623	35,08	64,92	$2,0766 \times 10^{-3}$	$3,1985 \times 10^{-3}$
8	623	35,08	64,92	$2,0766 \times 10^{-3}$	$3,1985 \times 10^{-3}$
9	647	40,09	59,91	$2,0937 \times 10^{-3}$	$3,4945 \times 10^{-3}$
10	668	44,48	55,52	$2,0848 \times 10^{-3}$	$3,7550 \times 10^{-3}$
11	695	50,06	49,94	$2,0435 \times 10^{-3}$	$4,0918 \times 10^{-3}$
12	695	50,06	49,94	$2,0435 \times 10^{-3}$	$4,0918 \times 10^{-3}$
13	736	58,21	41,79	$1,9251 \times 10^{-3}$	$4,6072 \times 10^{-3}$
14	743	59,55	40,45	$1,8992 \times 10^{-3}$	$4,6956 \times 10^{-3}$
15	765	63,63	36,37	$1,8089 \times 10^{-3}$	$4,9743 \times 10^{-3}$
16	791	68,18	31,82	$1,6879 \times 10^{-3}$	$5,3051 \times 10^{-3}$

17	791	68,18	31,82	$1,6879 \times 10^{-3}$	$5,3051 \times 10^{-3}$
18	808	70,98	29,02	$1,6025 \times 10^{-3}$	$5,5222 \times 10^{-3}$
19	860	78,60	21,40	$1,3248 \times 10^{-3}$	$6,1902 \times 10^{-3}$
20	886	81,86	18,14	$1,1839 \times 10^{-3}$	$6,5262 \times 10^{-3}$
21	886	81,86	18,14	$1,1839 \times 10^{-3}$	$6,5262 \times 10^{-3}$
22	1120	97,25	02,75	$2,6438 \times 10^{-4}$	$9,6018 \times 10^{-3}$
23	1150	97,95	02,05	$2,0524 \times 10^{-4}$	$1,0002 \times 10^{-2}$

Tableau IV.16 : Calcul des fonctions F(t), R(t), f(t) et $\lambda(t)$ de la vis.

N	TBF (heure)	F(t) (%)	R(t) (%)	f(t)	$\lambda(t)$
1	358	01,57	98,43	$4,1391 \times 10^{-4}$	$4,2049 \times 10^{-4}$
2	430	06,17	93,83	$8,6743 \times 10^{-4}$	$9,2444 \times 10^{-4}$
3	454	08,43	91,57	$1,0168 \times 10^{-3}$	$1,1104 \times 10^{-3}$
4	478	11,04	88,96	$1,1598 \times 10^{-3}$	$1,3037 \times 10^{-3}$
5	524	16,96	83,04	$1,4059 \times 10^{-3}$	$1,6930 \times 10^{-3}$
6	526	17,24	82,76	$1,4155 \times 10^{-3}$	$1,7105 \times 10^{-3}$
7	526	17,24	82,76	$1,4155 \times 10^{-3}$	$1,7105 \times 10^{-3}$
8	671	41,36	58,64	$1,8014 \times 10^{-3}$	$3,0721 \times 10^{-3}$
9	718	49,81	50,19	$1,7814 \times 10^{-3}$	$3,5494 \times 10^{-3}$
10	736	52,99	47,01	$1,7562 \times 10^{-3}$	$3,7363 \times 10^{-3}$

11	742	54,05	45,95	$1,7458 \times 10^{-3}$	$3,7990 \times 10^{-3}$
12	760	57,16	42,84	$1,7090 \times 10^{-3}$	$3,9888 \times 10^{-3}$
14	767	58,35	41,65	$1,6924 \times 10^{-3}$	$4,0632 \times 10^{-3}$
15	790	62,17	37,83	$1,6304 \times 10^{-3}$	$4,3097 \times 10^{-3}$
16	815	66,15	33,85	$1,5508 \times 10^{-3}$	$4,5814 \times 10^{-3}$
17	815	66,15	33,85	$1,5508 \times 10^{-3}$	$4,5814 \times 10^{-3}$
18	815	66,15	33,85	$1,5508 \times 10^{-3}$	$4,5814 \times 10^{-3}$
19	887	76,35	23,65	$1,2734 \times 10^{-3}$	$5,3843 \times 10^{-3}$
20	1030	90,27	09,73	$6,8677 \times 10^{-4}$	$7,0616 \times 10^{-3}$
21	1102	94,33	05,67	$4,5019 \times 10^{-4}$	$7,9437 \times 10^{-3}$
22	1102	94,33	05,67	$4,5019 \times 10^{-4}$	$7,9437 \times 10^{-3}$
23	1126	95,33	04,67	$3,8468 \times 10^{-4}$	$8,2429 \times 10^{-3}$

IV.4.1.4. Courbes de $F(t)$, $R(t)$, $f(t)$ et $\lambda(t)$ pour les quatre machines

Les résultats des tableaux IV.13, IV.14, IV.15 et IV.16 permettent de tracer les courbes de $F(t)$, $R(t)$, $f(t)$ et $\lambda(t)$ pour l'appareil à cylindre, de l'élévateur, du ventilateur et de la vis.

- Pour l'appareil à cylindre, les figures suivantes montrent les courbes de $F(t)$, $R(t)$, $f(t)$ et $\lambda(t)$ (figures VI.9, IV.10, IV.11 et IV.12) :

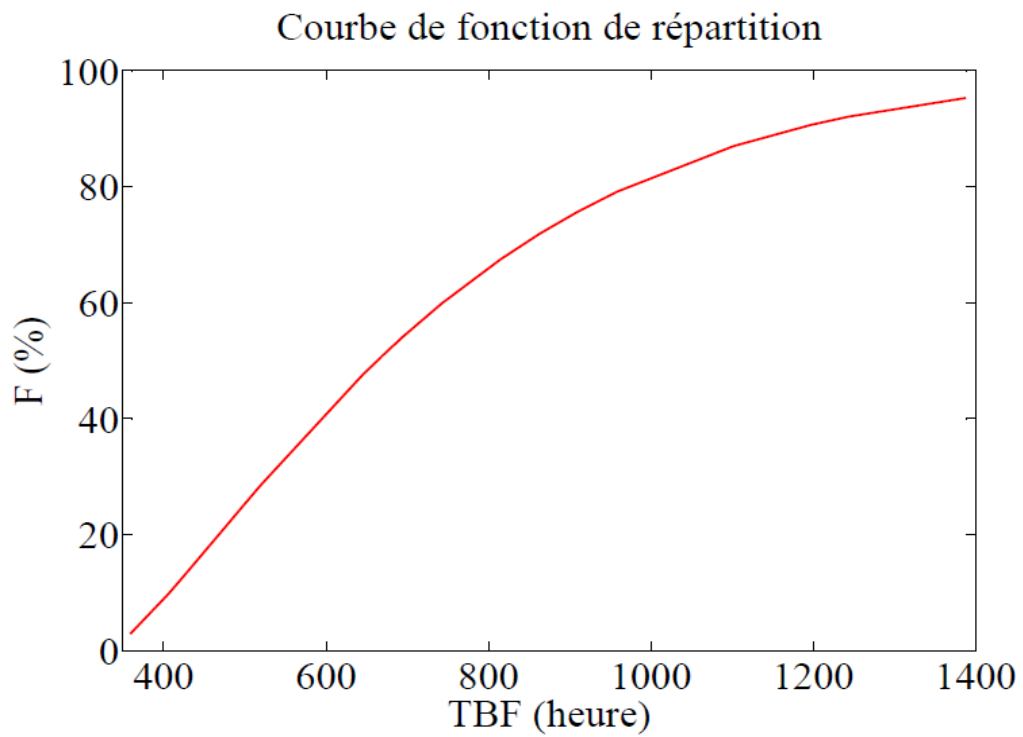


Figure IV.9 : Courbe de la fonction de répartition de l'appareil à cylindre.

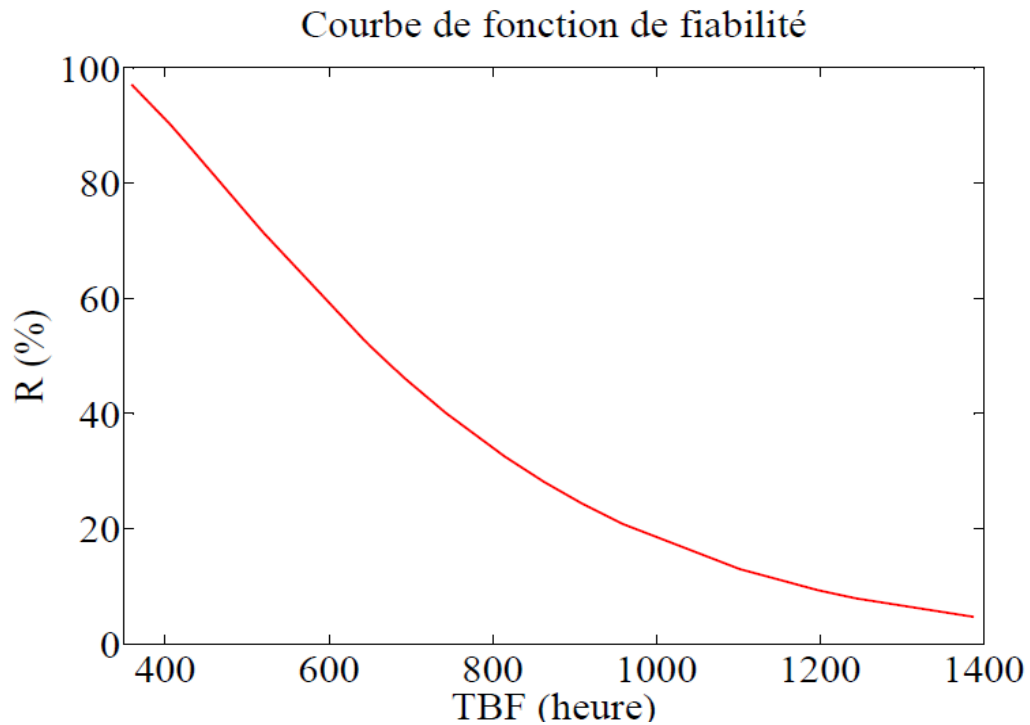


Figure IV.10 : Courbe de la fonction de fiabilité de l'appareil à cylindre.

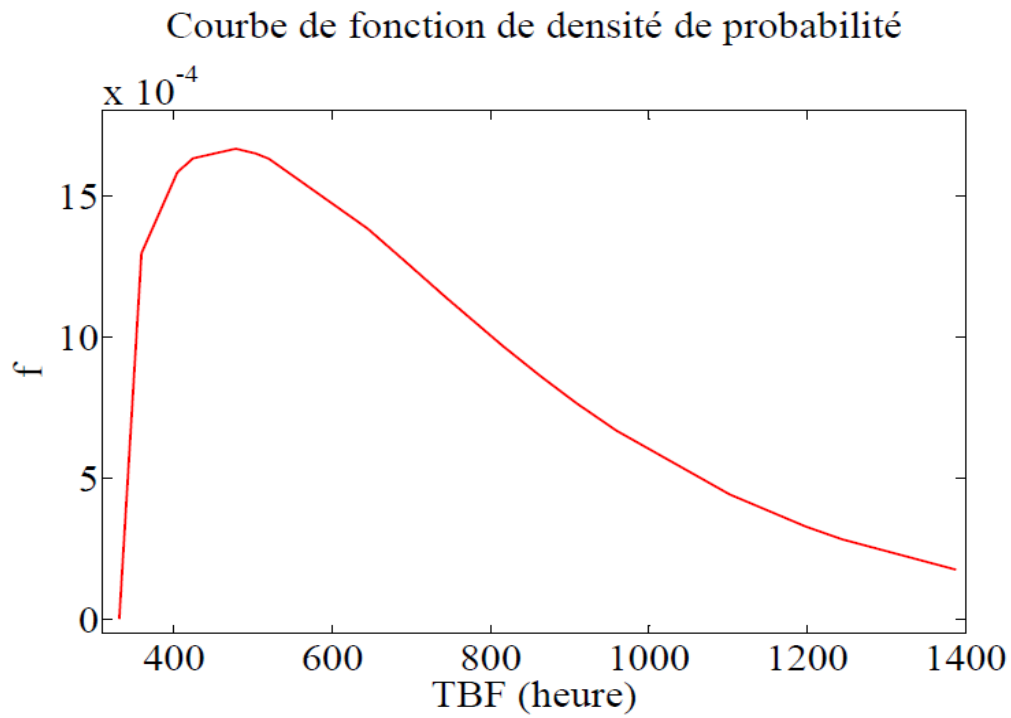


Figure IV.11 : Courbe de la fonction de densité de probabilité de l'appareil à cylindre.

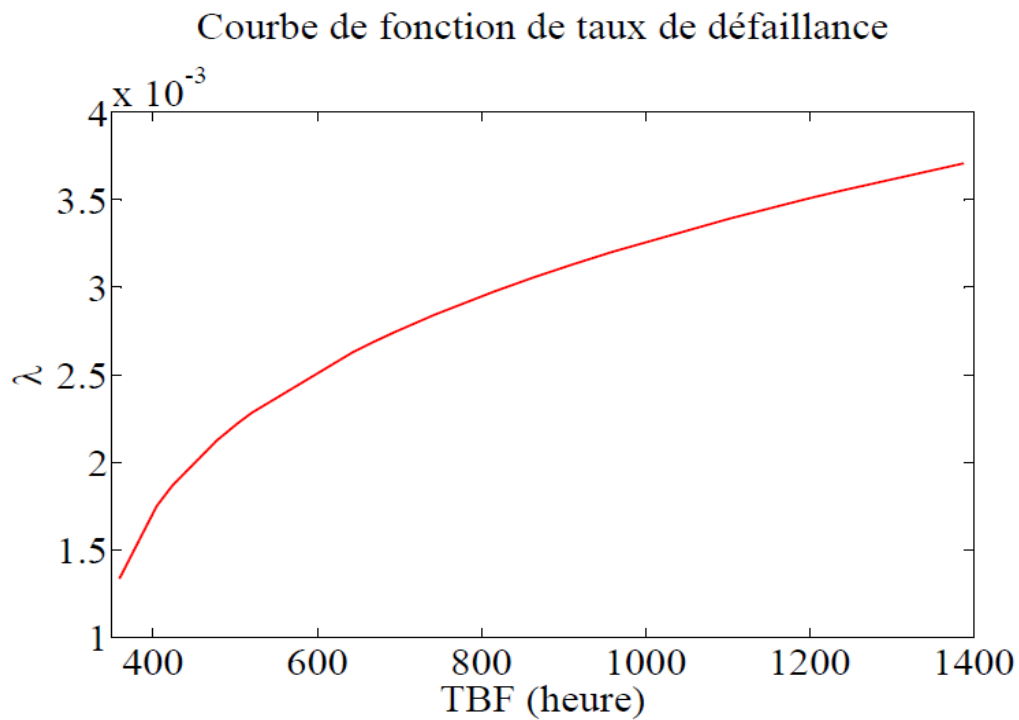


Figure IV.12 : Courbe de la fonction du taux de défaillance de l'appareil à cylindre.

- Pour l'élévateur, les figures suivantes montrent les courbes de $F(t)$, $R(t)$, $f(t)$ et $\lambda(t)$ (figures VI.13, IV.14, IV.15 et IV.16) :

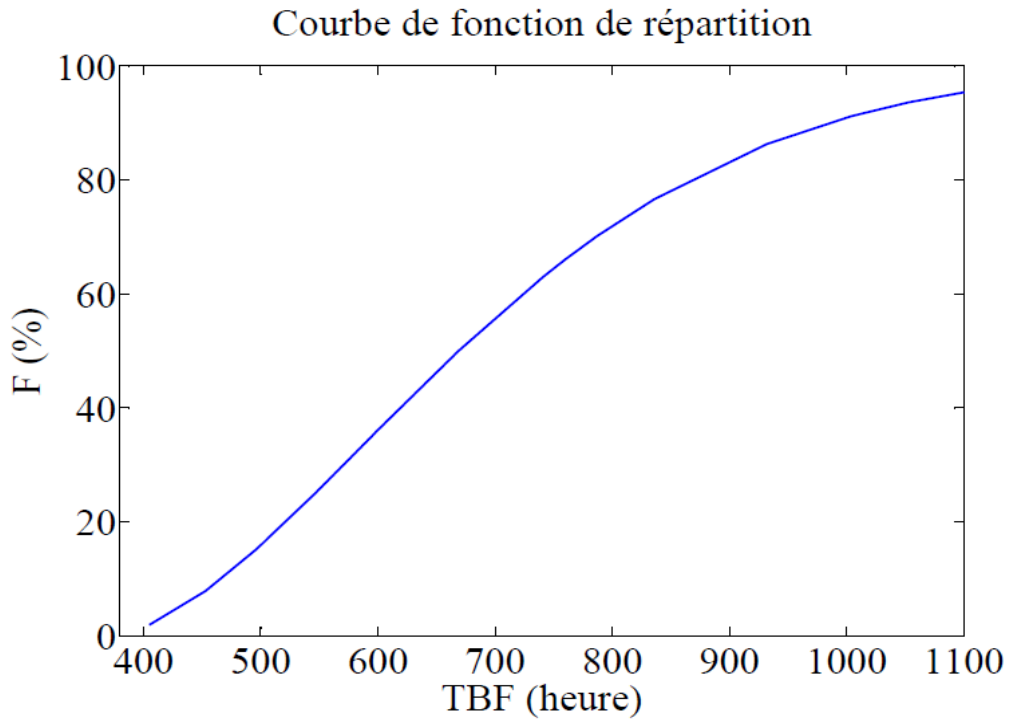


Figure IV.13 : Courbe de fonction de répartition de l'élévateur.

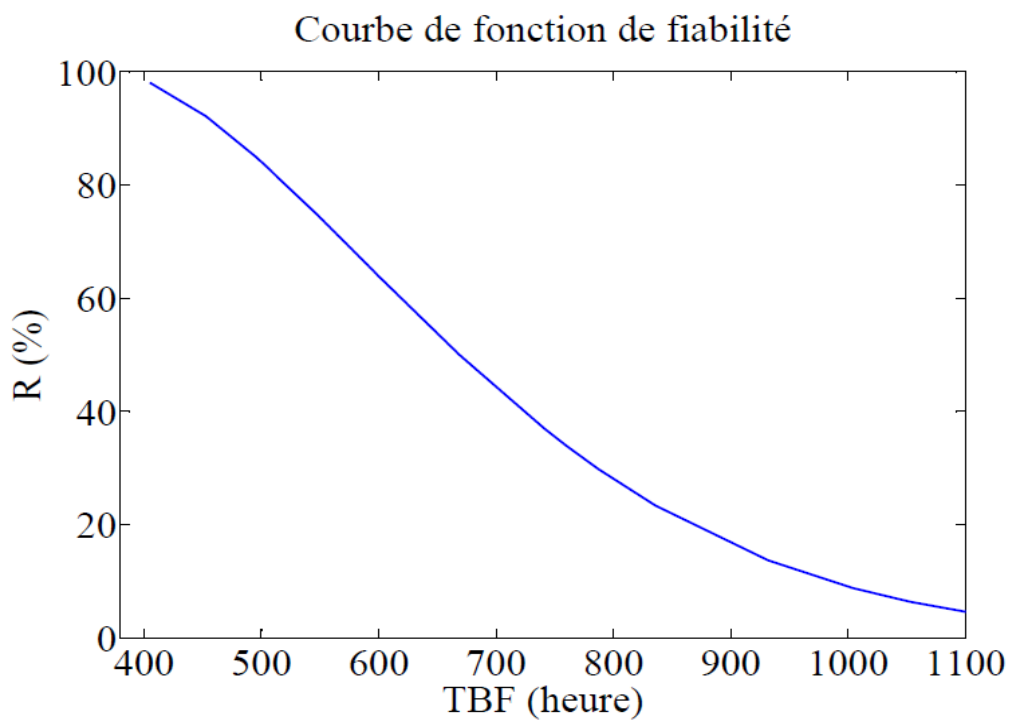


Figure IV.14 : Courbe de fonction de fiabilité de l'élévateur.

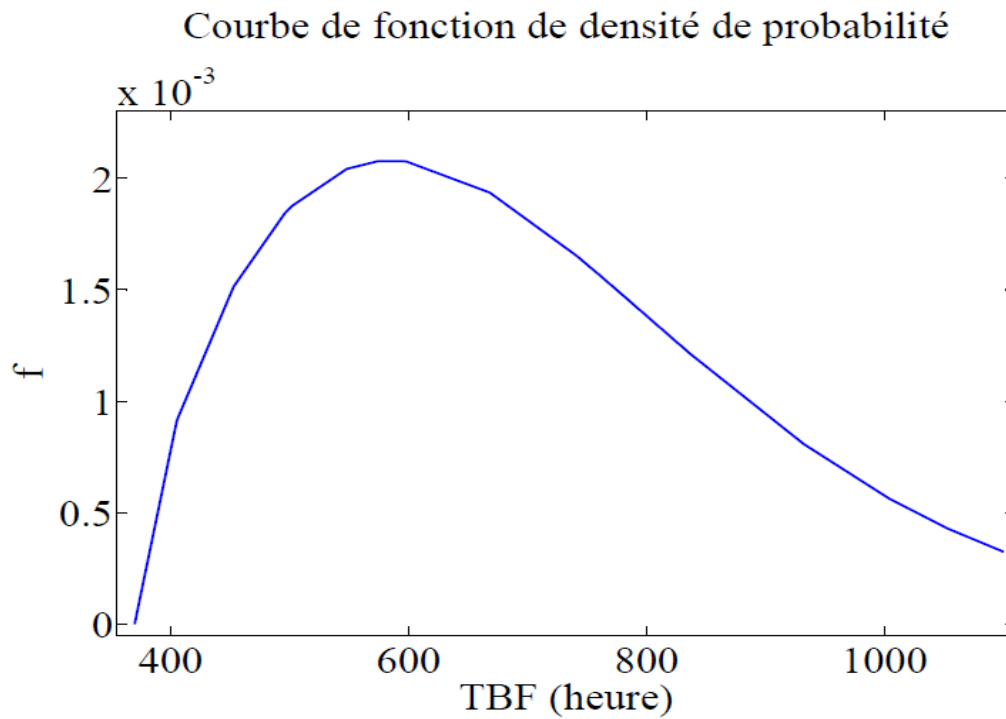


Figure IV.15 : Courbe de fonction de densité de probabilité de l'élévateur.

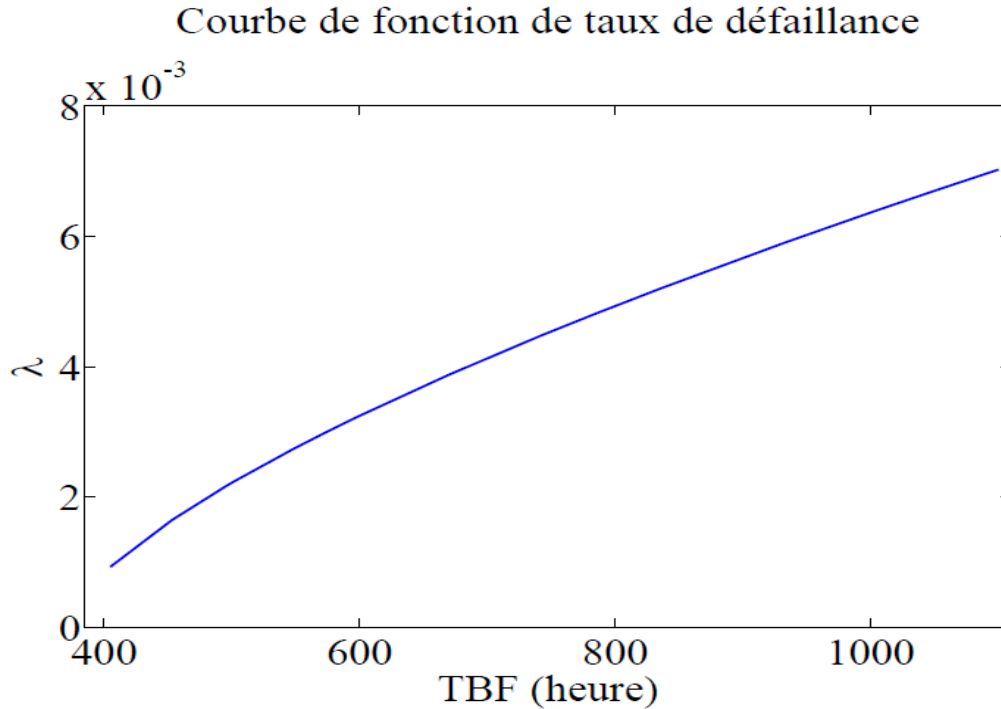


Figure IV.16 : Courbe de fonction de taux de défaillance de l'élévateur.

- Pour le ventilateur, les figures suivantes montrent les courbes de $F(t)$, $R(t)$, $f(t)$ et $\lambda(t)$ (figures VI.17, IV.18, IV.19 et IV.20) :

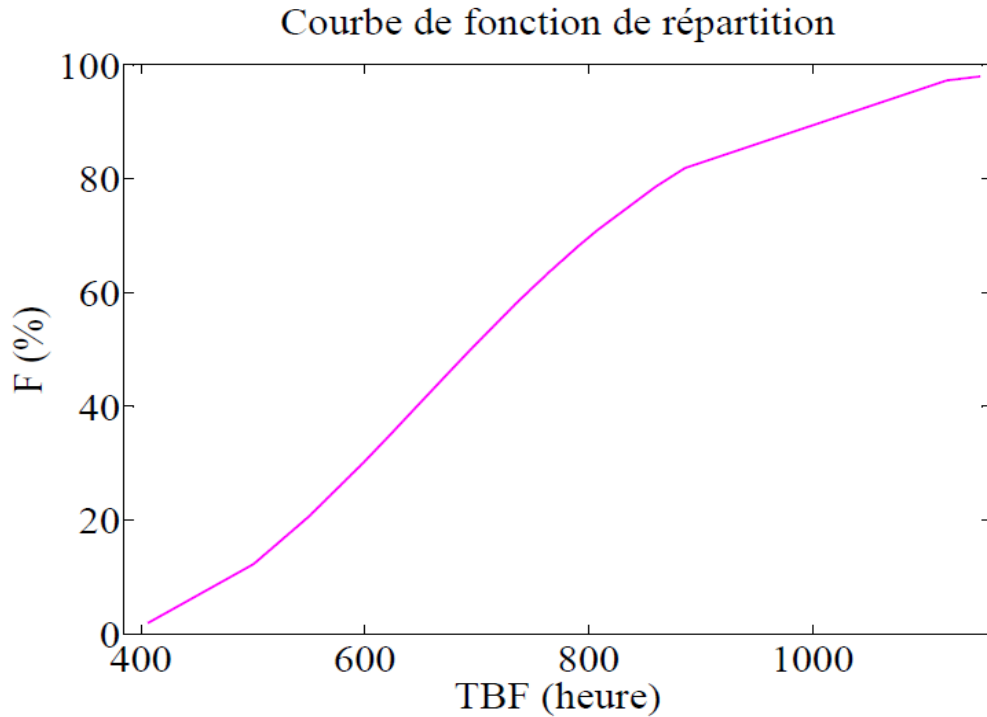


Figure IV.17 : Courbe de fonction de répartition de ventilateur.

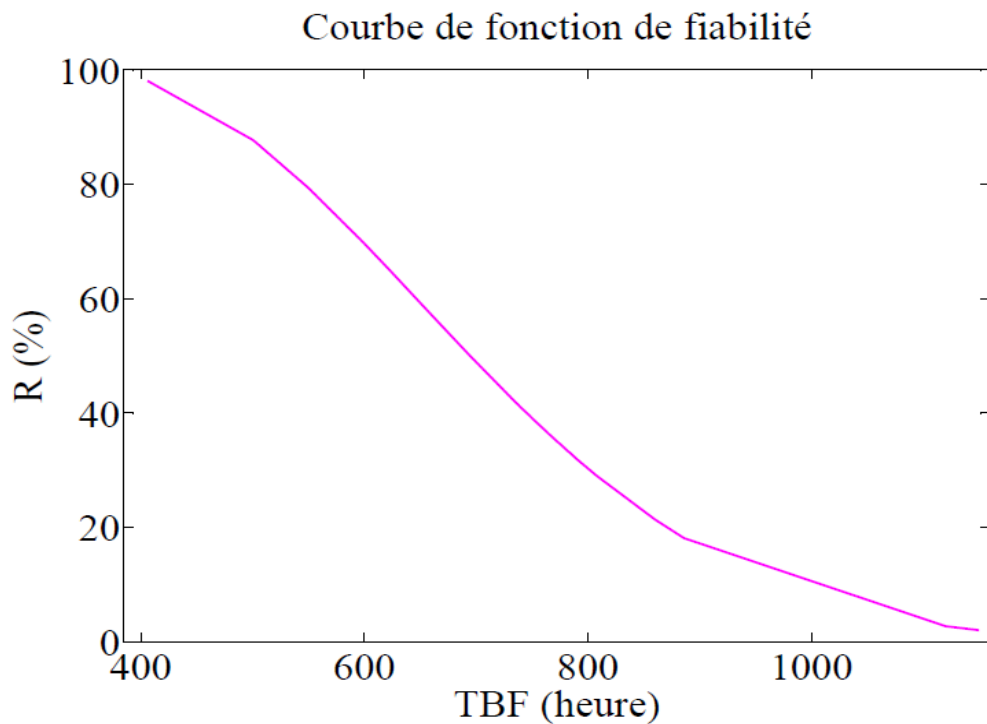


Figure IV.18 : Courbe de fonction de fiabilité de ventilateur.

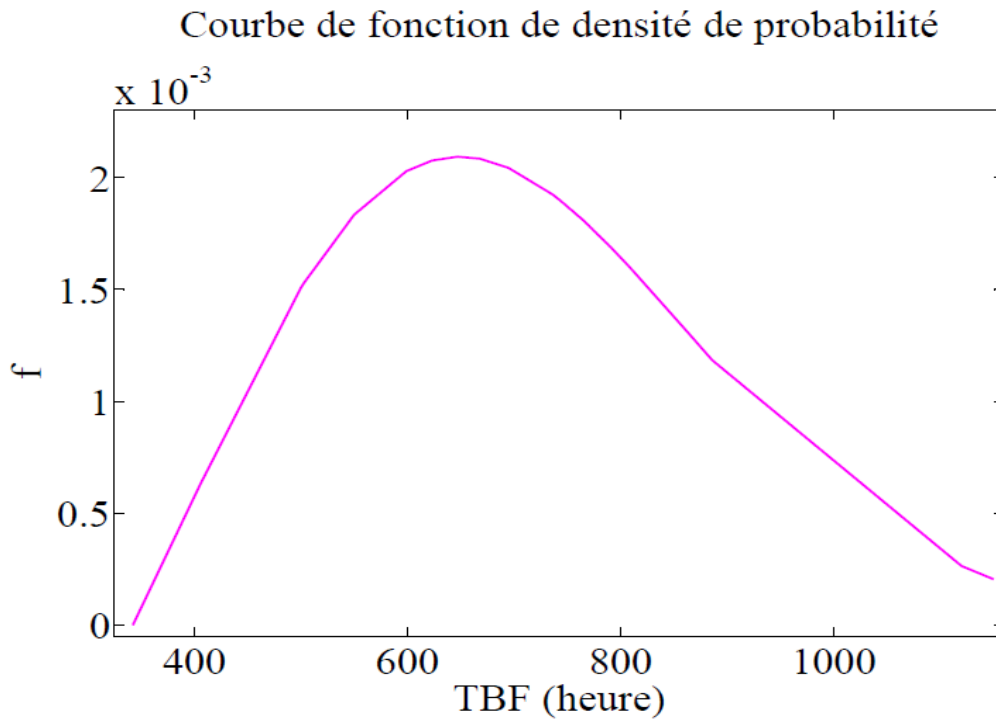


Figure IV.19 : Courbe de fonction de densité de probabilité de ventilateur.

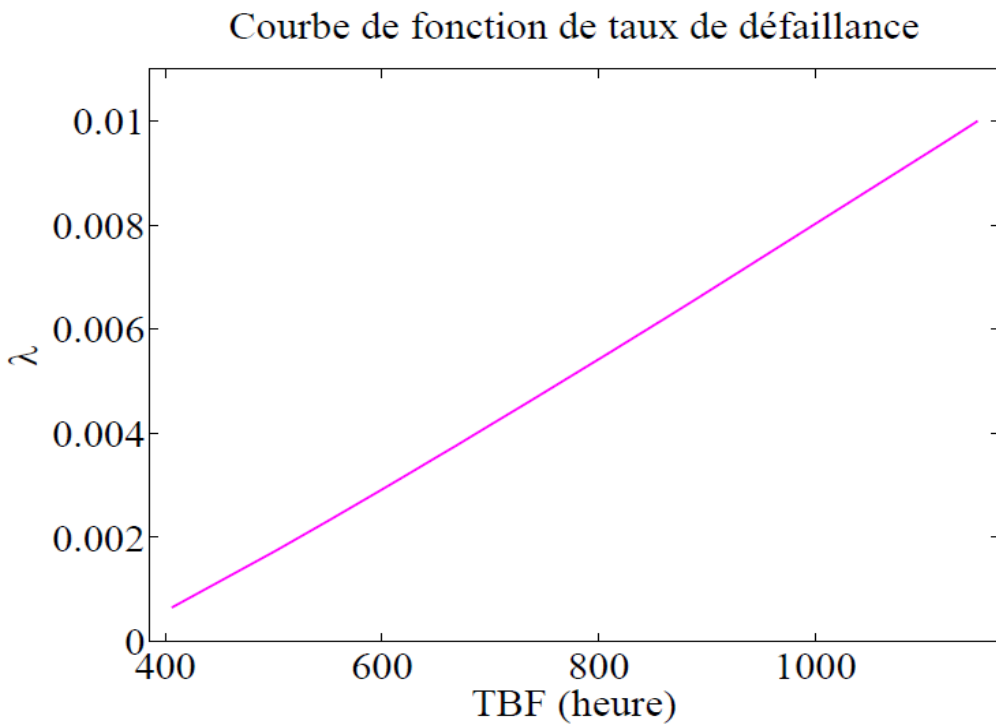


Figure IV.20 : Courbe de fonction de taux de défaillance de ventilateur.

- Pour la vis, les figures suivantes montrent les courbes de $F(t)$, $R(t)$, $f(t)$ et $\lambda(t)$ (figures VI.21, IV.22, IV.23 et IV.24) :

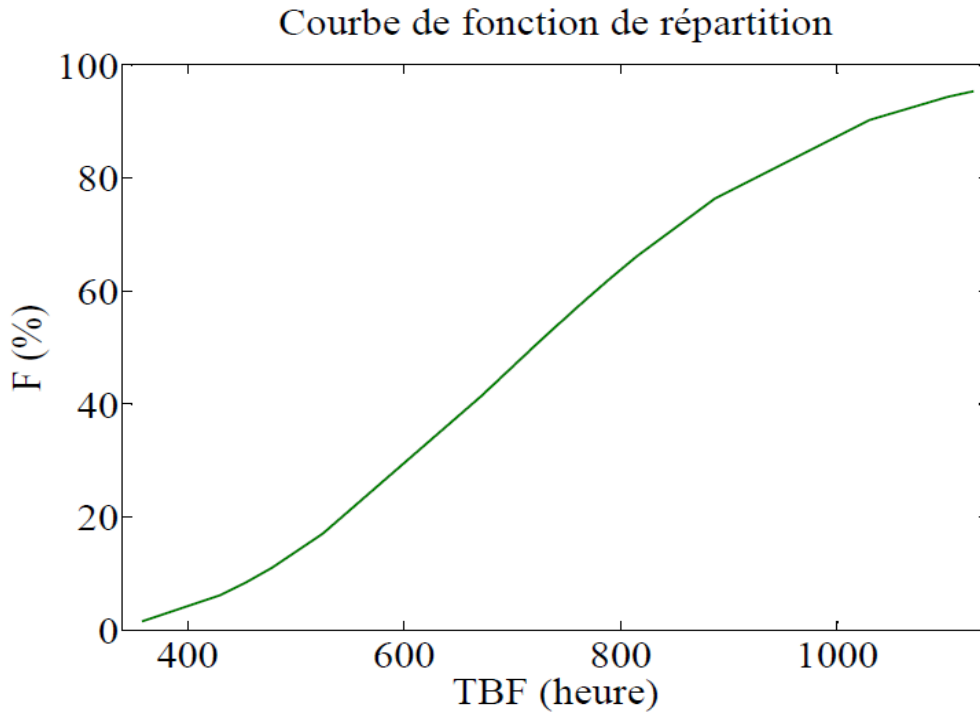


Figure IV.21 : Courbe de fonction de répartition de la vis.

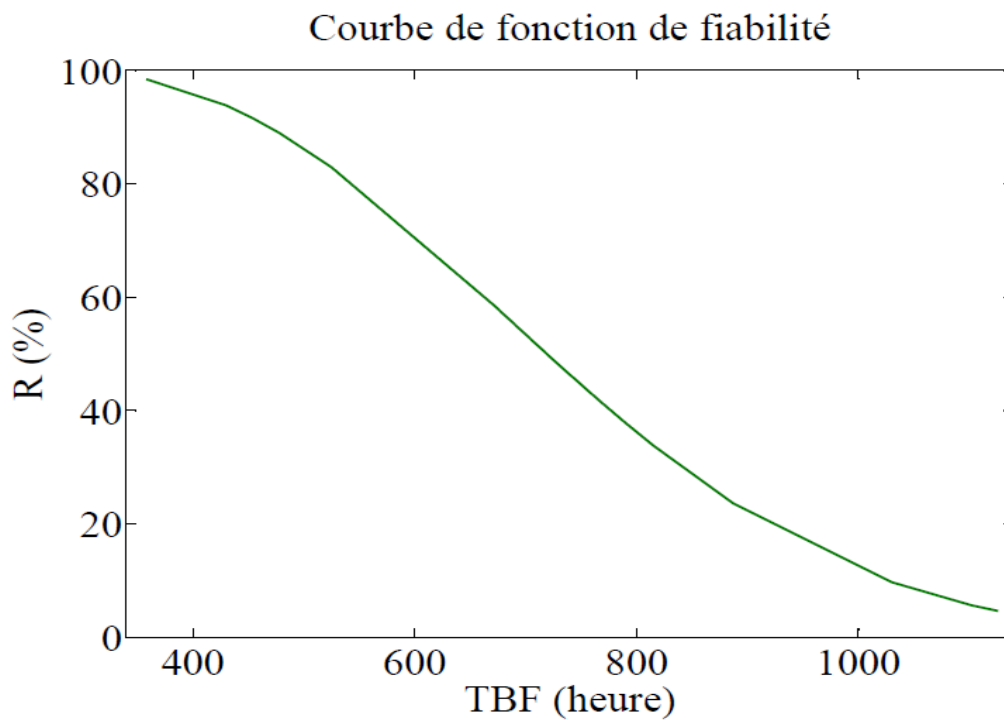


Figure IV.22 : Courbe de fonction de fiabilité de la vis.

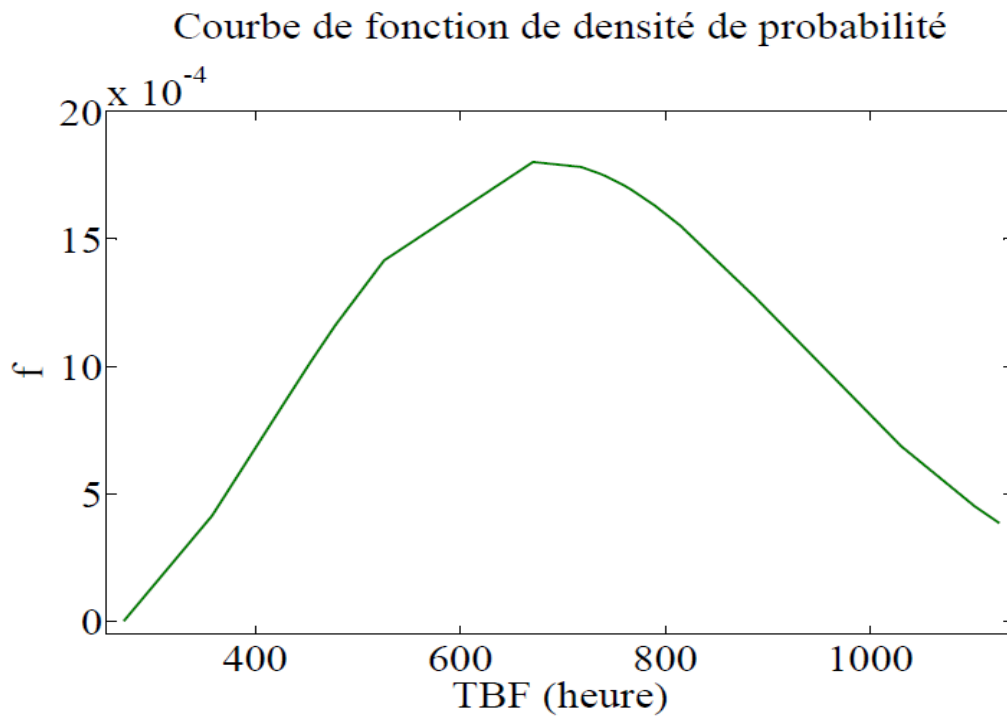


Figure IV.23 : Courbe de fonction de densité de probabilité de la vis.

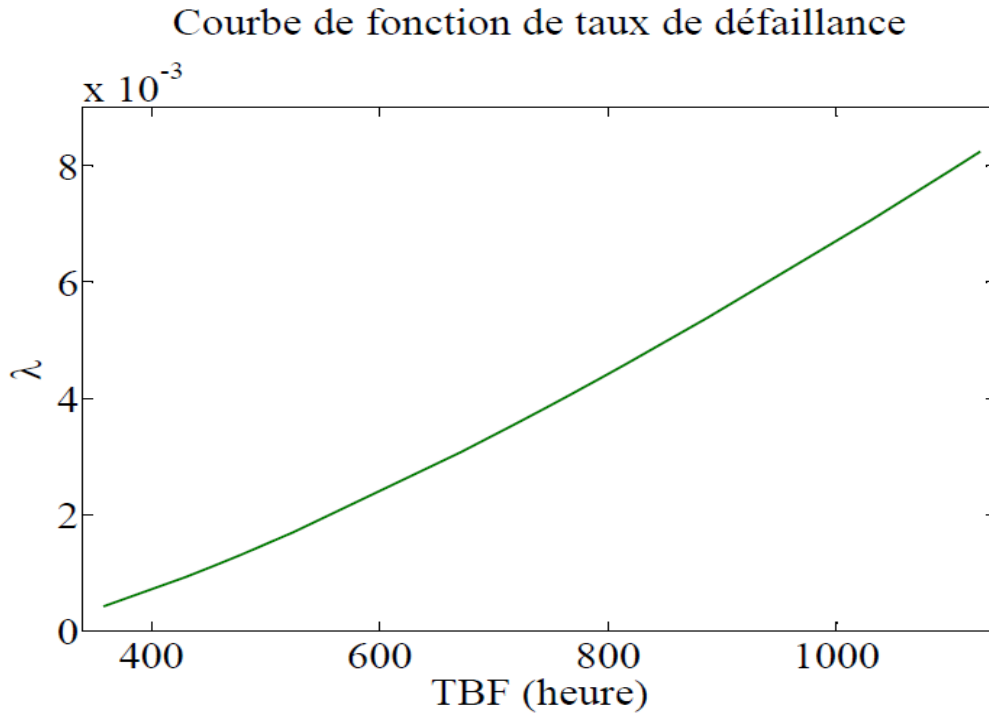


Figure IV.24 : Courbe de fonction de taux de défaillance de la vis.

Interprétation des courbes pour les quatre machines

Les figures IV.9, IV.13, IV.17 et IV.21 montrent la fonction de répartition de l'appareil à cylindre, de l'élévateur, du ventilateur et de la vis en fonction du temps de bon fonctionnement. D'après ces courbes de ces figures, on voit que la probabilité de défaillance est une fonction croissante avec le temps, c'est-à-dire que cette croissance est à cause de l'augmentation du temps de panne des machines.

Les figures IV.10, IV.14, IV.18 et IV.22 illustrent la fiabilité de l'appareil à cylindre, de l'élévateur, du ventilateur et de la vis en fonction du temps de bon fonctionnement. D'après ces figures, on voit que la fiabilité est une fonction décroissante avec le temps, c'est-à-dire que cette décroissance est à cause de la réduction du temps de bon fonctionnement des machines.

Les figures IV.11, IV.15, IV.19 et IV.23 représentent la densité de probabilité de l'appareil à cylindre, de l'élévateur, du ventilateur et de la vis en fonction du temps de bon fonctionnement. La courbe de la fonction de densité de probabilité permet de visualiser la distribution des temps de défaillance de ces machines. Elle peut être utilisée pour analyser la fréquence des pannes, identifier les zones de risque élevé, comparer différentes distributions et prendre des décisions concernant la maintenance préventive et la gestion de la fiabilité des équipements. D'après ces courbes, on remarque que la densité de probabilité est une fonction croissante avec le temps jusqu'à un certain temps de bon fonctionnement puis elle est une fonction décroissante avec le temps.

Les Figures IV.12, IV.16, IV.20 et IV.24 montrent le taux de défaillance de l'appareil à cylindre, de l'élévateur, du ventilateur et de la vis en fonction du temps de bon fonctionnement. D'après les courbes de ces figures, on constate que la fonction du taux de défaillance est croissante avec le temps. La courbe de fonction de taux de défaillance $\lambda(t)$ permet de visualiser comment le taux de défaillance varie au fil du temps. Elle peut être utilisée pour identifier les périodes de risque élevé, planifier la maintenance préventive, évaluer la fiabilité des équipements et prendre des décisions concernant la gestion des pannes et la disponibilité des systèmes.

IV.4.1.5. Calcul de $F(\text{MTBF})$, $R(\text{MTBF})$, $f(\text{MTBF})$ et $\lambda(\text{MTBF})$ pour les quatre machines

Dans la suite, on va calculer les fonctions suivantes : la fonction de répartition $F(t)$, la fonction de fiabilité $R(t)$, la fonction de distribution $f(t)$ et le taux de défaillance $\lambda(t)$ pour la moyenne du temps de bon fonctionnement de de l'appareil à cylindre, de l'élévateur, du ventilateur et de la vis.

- L'utilisation des paramètres de l'appareil à cylindre suivants : **MTBF = 740,437 heures**, **$\beta = 1,28218$** , **$\eta = 442,288$** et **$\gamma = 330,786$** permet de calculer **F(MTBF)**, **R(MTBF)**, **f(MTBF)** et **λ (MTBF)**.

Pour MTBF, on a :
$$\mathbf{F(MTBF) = 1 - e^{-\left(\frac{MTBF-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

A.N :
$$\mathbf{F(MTBF) = 1 - e^{-\left(\frac{740,437-330,786}{442,288}\right)^{1,28218}}$$

Donc :
$$\mathbf{F(MTBF) = 59,60 \%}$$

Pour MTBF, on a :
$$\mathbf{R(MTBF) = e^{-\left(\frac{MTBF-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

A.N :
$$\mathbf{R(MTBF) = e^{-\left(\frac{740,437-330,786}{442,288}\right)^{1,28218}}$$

Donc :
$$\mathbf{R(MTBF) = 40,40 \%}$$

Pour MTBF, on a :
$$\mathbf{f(MTBF) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{MTBF-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{MTBF-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

A.N :
$$\mathbf{f(MTBF) = \frac{1,28218}{442,288} \cdot \left(\frac{740,437-330,786}{442,288}\right)^{1,28218-1} \cdot e^{-\left(\frac{740,437-330,786}{442,288}\right)^{1,28218}}$$

Donc :
$$\mathbf{f(MTBF) = 1,1461 \times 10^{-3}}$$

Pour MTBF, on a :
$$\mathbf{\lambda(MTBF) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{MTBF-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}$$

A.N :
$$\mathbf{\lambda(MTBF) = \frac{1,28218}{442,288} \cdot \left(\frac{740,437-330,786}{442,288}\right)^{1,28218-1}$$

Donc :
$$\mathbf{\lambda(MTBF) = 2,8369 \times 10^{-3} \text{ panne/heure}}$$

Afin d'augmenter la valeur de la fiabilité de **40,40 %** à une valeur optimisée est égale à **70%**, le temps souhaitable pour une intervention systématique est le suivant :

On a :
$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = 70 \%$$

Qui implique :
$$t = \eta \cdot \left[\ln \left(\frac{1}{R(t)} \right) \right]^{\frac{1}{\beta}} + \gamma$$

A.N :
$$t = 442,288 \cdot \left[\ln \left(\frac{1}{0,7} \right) \right]^{\frac{1}{1,28218}} + 330,786$$

Donc :
$$t = 528,7 \text{ heures}$$

Pour améliorer la fiabilité de l'appareil à cylindre à **70 %**, il faut intervenir à chaque **528,7 heures**.

- L'utilisation des paramètres de l'élévateur suivants : **MTBF = 702,646 heures**, **$\beta = 1,66865$** , **$\eta = 372,598$** et **$\gamma = 369,754$** permet de calculer $F(\text{MTBF})$, $R(\text{MTBF})$, $f(\text{MTBF})$ et $\lambda(\text{MTBF})$

Pour MTBF, on a :
$$F(\text{MTBF}) = 1 - e^{-\left(\frac{\text{MTBF}-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

A.N :
$$F(\text{MTBF}) = 1 - e^{-\left(\frac{702,646-369,754}{372,598}\right)^{1,66865}}$$

Donc :
$$F(\text{MTBF}) = 56,33 \%$$

Pour MTBF, on a :
$$R(\text{MTBF}) = e^{-\left(\frac{\text{MTBF}-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

A.N :
$$R(\text{MTBF}) = e^{-\left(\frac{702,646-369,754}{372,598}\right)^{1,66865}}$$

Donc :
$$R(\text{MTBF}) = 43,67 \%$$

Pour MTBF, on a :
$$f(\text{MTBF}) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{\text{MTBF}-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{\text{MTBF}-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

A.N :
$$f(\text{MTBF}) = \frac{1,66865}{372,598} \cdot \left(\frac{702,646-369,754}{372,598}\right)^{1,66865-1} \cdot e^{-\left(\frac{702,646-369,754}{372,598}\right)^{1,66865}}$$

Donc :
$$f(\text{MTBF}) = 1,8136 \times 10^{-3}$$

Pour MTBF, on a :
$$\lambda(\text{MTBF}) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{\text{MTBF}-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}$$

A.N :
$$\lambda(\text{MTBF}) = \frac{1,66865}{372,598} \cdot \left(\frac{702,646-369,754}{372,598}\right)^{1,66865-1}$$

Donc :
$$\lambda(\text{MTBF}) = 4,1534 \times 10^{-3} \text{ panne/heure}$$

Afin d'augmenter la valeur de la fiabilité de **43,67 %** à une valeur optimisée est égale à **70%**, le temps souhaitable pour une intervention systématique est le suivant :

On a :
$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = 70 \%$$

Qui implique :
$$t = \eta \cdot \left[\ln\left(\frac{1}{R(t)}\right)\right]^{\frac{1}{\beta}} + \gamma$$

A.N :
$$t = 372,598 \cdot \left[\ln\left(\frac{1}{0,7}\right)\right]^{\frac{1}{1,66865}} + 369,754$$

Donc :
$$t = 570,6 \text{ heure}$$

Pour améliorer la fiabilité de l'élevateur à **70 %**, il faut intervenir à chaque **570,6 heures**.

- L'utilisation des paramètres de ventilateur suivants : **MTBF = 714,648 heures**, **$\beta = 2,07879$** , **$\eta = 420,409$** et **$\gamma = 342,265$** permet de calculer $F(\text{MTBF})$, $R(\text{MTBF})$, $f(\text{MTBF})$ et $\lambda(\text{MTBF})$.

Pour MTBF, on a :
$$F(\text{MTBF}) = 1 - e^{-\left(\frac{\text{MTBF}-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

A.N :
$$F(\text{MTBF}) = 1 - e^{-\left(\frac{714,648-342,265}{420,409}\right)^{2,07879}}$$

Donc :
$$F(\text{MTBF}) = 54,03 \%$$

Pour MTBF, on a :
$$R(\text{MTBF}) = e^{-\left(\frac{\text{MTBF}-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

A.N :
$$R(\text{MTBF}) = e^{-\left(\frac{714,648-342,265}{420,409}\right)^{2,07879}}$$

Donc :
$$R(\text{MTBF}) = 45,97 \%$$

Pour MTBF, on a :
$$f(\text{MTBF}) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{\text{MTBF}-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{\text{MTBF}-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

A.N :
$$f(\text{MTBF}) = \frac{2,07879}{420,409} \cdot \left(\frac{714,648-342,265}{420,409}\right)^{2,07879-1} \cdot e^{-\left(\frac{714,648-342,265}{420,409}\right)^{2,07879}}$$

Donc :
$$f(\text{MTBF}) = 1,9944 \times 10^{-3}$$

Pour MTBF, on a :
$$\lambda(\text{MTBF}) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{\text{MTBF}-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}$$

A.N :
$$\lambda(\text{MTBF}) = \frac{2,07879}{420,409} \cdot \left(\frac{714,648-342,265}{420,409}\right)^{2,07879-1}$$

Donc :
$$\lambda(\text{MTBF}) = 4,3382 \times 10^{-3} \text{ panne/heure}$$

Afin d'augmenter la valeur de la fiabilité de **45,97 %** à une valeur optimisée est égale à **70%**, le temps souhaitable pour une intervention systématique est le suivant :

On a :
$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = 70 \%$$

Qui implique :
$$t = \eta \cdot \left[\ln\left(\frac{1}{R(t)}\right) \right]^{\frac{1}{\beta}} + \gamma$$

A.N :
$$t = 420,409 \cdot \left[\ln\left(\frac{1}{0,7}\right) \right]^{\frac{1}{2,07879}} + 342,265$$

Donc :
$$t = 598,3 \text{ heure}$$

Pour améliorer la fiabilité de ventilateur à 70 %, il faut intervenir à chaque 598,3 heures.

- L'utilisation des paramètres de la vis suivants : **MTBF = 736,563 heures**, **$\beta = 2,29753$** , **$\eta = 524,635$** et **$\gamma = 271,786$** permet de calculer $F(\text{MTBF})$, $R(\text{MTBF})$, $f(\text{MTBF})$ et $\lambda(\text{MTBF})$.

Pour MTBF, on a :
$$F(\text{MTBF}) = 1 - e^{-\left(\frac{\text{MTBF}-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

A.N :
$$F(\text{MTBF}) = 1 - e^{-\left(\frac{736,563-271,786}{524,635}\right)^{2,29753}}$$

Donc :
$$F(\text{MTBF}) = 53,09 \%$$

Pour MTBF, on a :
$$R(\text{MTBF}) = e^{-\left(\frac{\text{MTBF}-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

A.N :
$$R(\text{MTBF}) = e^{-\left(\frac{736,563-271,786}{524,635}\right)^{2,29753}}$$

Donc :
$$R(\text{MTBF}) = 46,91 \%$$

Pour MTBF, on a :
$$f(\text{MTBF}) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{\text{MTBF}-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{\text{MTBF}-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

A.N :
$$f(\text{MTBF}) = \frac{2,29753}{524,635} \cdot \left(\frac{736,563-271,786}{524,635}\right)^{2,29753-1} \cdot e^{-\left(\frac{736,563-271,786}{524,635}\right)^{2,29753}}$$

Donc : $f(\text{MTBF}) = 1,7556 \times 10^{-3}$

Pour MTBF, on a : $\lambda(\text{MTBF}) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{\text{MTBF}-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}$

A.N : $\lambda(\text{MTBF}) = \frac{2,29753}{524,635} \cdot \left(\frac{736,563-271,786}{524,635}\right)^{2,29753-1}$

Donc : $\lambda(\text{MTBF}) = 3,7425 \times 10^{-3}$ panne/heure

Afin d'augmenter la valeur de la fiabilité de **46,91 %** à une valeur optimisée est égale à **70%**, le temps souhaitable pour une intervention systématique est le suivant :

On a : $R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = 70 \%$

Qui implique : $t = \eta \cdot \left[\ln\left(\frac{1}{R(t)}\right)\right]^{\frac{1}{\beta}} + \gamma$

A.N : $t = 524,635 \cdot \left[\ln\left(\frac{1}{0,7}\right)\right]^{\frac{1}{2,29753}} + 271,786$

Donc : $t = 606,7$ heure

Pour améliorer la fiabilité de la vis à **70 %**, il faut intervenir à chaque **606,7 heures**.

IV.4.2. Maintenabilité et Disponibilité

La maintenabilité et la disponibilité sont deux concepts essentiels dans le domaine de la gestion de la maintenance des équipements. Ils sont étroitement liés à la fiabilité et à la performance des systèmes.

IV.4.2.1. Calcul des fonctions M(t) et D(t) pour les quatre machines

Pour évaluer la maintenabilité M(t) et la disponibilité D(t), il faut calculer tout d'abord la moyenne des temps de réparation MTTR, le taux de réparation μ et le taux de défaillance λ pour l'appareil à cylindre, de l'élévateur, du ventilateur et de la vis.

- Pour l'appareil à cylindre, le nombre des pannes N égale **23** pannes, $\Sigma TTR = 59$ heures et $MTBF = 740,437$ heures, alors :

On a :
$$MTTR = \frac{\Sigma TTR}{N}$$

A.N :
$$MTTR = \frac{59}{23}$$

Donc :
$$MTTR = 2,5652 \text{ heure}$$

On a :
$$\mu = \frac{1}{MTTR}$$

A.N :
$$\mu = \frac{1}{2,5652}$$

Donc :
$$\mu = 3,8983 \times 10^{-1}$$

On a :
$$\lambda = \frac{1}{MTBF}$$

A.N :
$$\lambda = \frac{1}{740,437}$$

Donc :
$$\lambda = 1,3505 \times 10^{-3} \text{ panne/heure}$$

- Pour l'élévateur, le nombre des pannes N égale **23** pannes, $\Sigma TTR = 84$ heures et $MTBF = 702,646$ heures, alors :

On a :
$$MTTR = \frac{\Sigma TTR}{N}$$

A.N :
$$MTTR = \frac{84}{23}$$

Donc :
$$MTTR = 3,6522 \text{ heure}$$

On a :
$$\mu = \frac{1}{\text{MTTR}}$$

A.N :
$$\mu = \frac{1}{3,6522}$$

Donc :
$$\mu = 2,3781 \times 10^{-1}$$

On a :
$$\lambda = \frac{1}{\text{MTBF}}$$

A.N :
$$\lambda = \frac{1}{702,646}$$

Donc :
$$\lambda = 1,4232 \times 10^{-3} \text{ panne/heure}$$

- Pour le ventilateur, le nombre des pannes N égale 23 pannes, $\Sigma\text{TTR} = 60$ heures et $\text{MTBF} = 714,648$ heures, alors :

On a :
$$\text{MTTR} = \frac{\Sigma\text{TTR}}{N}$$

A.N :
$$\text{MTTR} = \frac{60}{23}$$

Donc :
$$\text{MTTR} = 2,6087 \text{ heure}$$

On a :
$$\mu = \frac{1}{\text{MTTR}}$$

A.N :
$$\mu = \frac{1}{2,6087}$$

Donc :
$$\mu = 3,8333 \times 10^{-1}$$

On a :
$$\lambda = \frac{1}{\text{MTBF}}$$

A.N :
$$\lambda = \frac{1}{714,648}$$

Donc :
$$\lambda = 1,3993 \times 10^{-3} \text{ panne/heure}$$

- Pour la vis, le nombre des pannes N égale 23 pannes, $\Sigma TTR = 54$ heures et $MTBF = 736,563$ heures, alors :

On a :
$$MTTR = \frac{\Sigma TTR}{N}$$

A.N :
$$MTTR = \frac{54}{23}$$

Donc :
$$MTTR = 2,3478 \text{ heure}$$

On a :
$$\mu = \frac{1}{MTTR}$$

A.N :
$$\mu = \frac{1}{2,3478}$$

Donc :
$$\mu = 4,2593 \times 10^{-1}$$

On a :
$$\lambda = \frac{1}{MTBF}$$

A.N :
$$\lambda = \frac{1}{736,563}$$

Donc :
$$\lambda = 1,3576 \times 10^{-3} \text{ panne/heure}$$

Les tableaux suivants illustrent les résultats de calcul de la maintenabilité et la disponibilité de l'appareil à cylindre, de l'élévateur, du ventilateur et de la vis (tableaux IV.17, IV.18, IV.19 et IV.20) :

Tableau IV.17 : Calcul des fonctions M(t) et D(t) de l'appareil à cylindre.

N	TTR (heure)	M(t) (%)	D(t) (%)
1	1	32,28	99,89
2	1	32,28	99,89
3	1	32,28	99,89
4	1	32,28	99,89
5	1	32,28	99,89
6	1	32,28	99,89
7	1	32,28	99,89
8	1	32,28	99,89
9	2	54,14	99,81
10	2	54,14	99,81
11	2	54,14	99,81
12	2	54,14	99,81
13	2	54,14	99,81
14	2	54,14	99,81
15	2	54,14	99,81
16	2	54,14	99,81
17	3	68,95	99,76
18	4	78,97	99,73
19	4	78,97	99,73
20	4	78,97	99,73

21	4	78,97	99,73
22	8	95,58	99,67
23	8	95,58	99,67

Tableau IV.18 : Calcul des fonctions M(t) et D(t) de l'élevateur.

N	TTR (heure)	M(t) (%)	D(t) (%)
1	2	42,17	99,78
2	2	42,17	99,78
3	2	42,17	99,78
4	2	42,17	99,78
5	3	56,02	99,71
6	3	56,02	99,71
7	3	56,02	99,71
8	3	56,02	99,71
9	3	56,02	99,71
10	3	56,02	99,71
11	3	56,02	99,71
12	3	56,02	99,71
13	4	66,55	99,66
14	4	66,55	99,66
15	4	66,55	99,66
16	4	66,55	99,66

17	4	66,55	99,66
18	4	66,55	99,66
19	4	66,55	99,66
20	4	66,55	99,66
21	4	66,55	99,66
22	8	88,81	99,54
23	8	88,81	99,54

Tableau IV.19 : Calcul des fonctions M(t) et D(t) de ventilateur.

N	TTR (heure)	M(t) (%)	D(t) (%)
1	1	31,84	99,88
2	1	31,84	99,88
3	1	31,84	99,88
4	1	31,84	99,88
5	1	31,84	99,88
6	1	31,84	99,88
7	1	31,84	99,88
8	1	31,84	99,88
9	1	31,84	99,88
10	1	31,84	99,88
11	1	31,84	99,88
12	2	53,54	99,81

13	2	53,54	99,81
14	2	53,54	99,81
15	2	53,54	99,81
16	2	53,54	99,81
17	3	68,34	99,75
18	4	78,42	99,71
19	4	78,42	99,71
20	4	78,42	99,71
21	8	95,34	99,65
22	8	95,34	99,65
23	8	95,34	99,65

Tableau IV.20 : Calcul des fonctions M(t) et D(t) de la vis.

N	TTR (heure)	M(t) (%)	D(t) (%)
1	1	34,68	99,89
2	1	34,68	99,89
3	1	34,68	99,89
4	1	34,68	99,89
5	1	34,68	99,89
6	1	34,68	99,89
7	2	57,34	99,82
8	2	57,34	99,82

9	2	57,34	99,82
10	2	57,34	99,82
11	2	57,34	99,82
12	2	57,34	99,82
13	2	57,34	99,82
14	2	57,34	99,82
15	2	57,34	99,82
16	2	57,34	99,82
17	2	57,34	99,82
18	2	57,34	99,82
19	2	57,34	99,82
20	2	57,34	99,82
21	4	81,80	99,74
22	8	96,69	99,69
23	8	96,69	99,69

IV.4.2.2. Courbes de M(t) et D(t) pour les quatre machines

Les figures ci-dessous montrent les courbes de M(t) et D(t) pour de l'appareil à cylindre, de l'élevateur, du ventilateur et de la vis.

- Pour l'appareil à cylindre, les deux figures suivantes montrent la maintenabilité et la disponibilité en fonction de temps de réparation TTR (figure IV.25 et figure IV.26) :

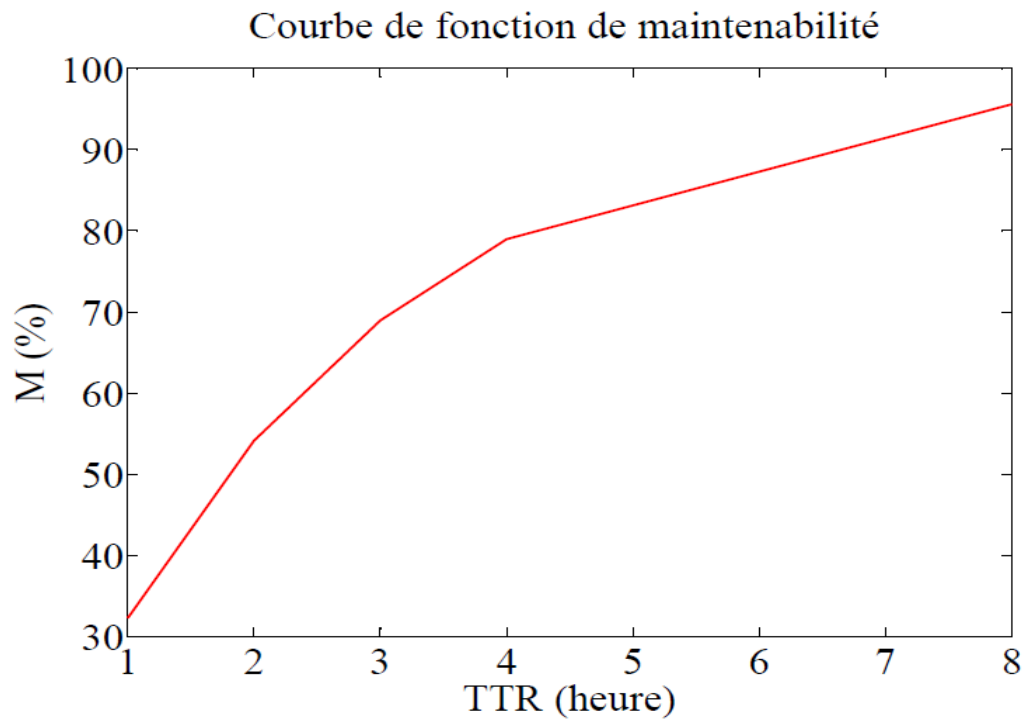


Figure IV.25 : Courbe de la maintenabilité de l'appareil à cylindre.

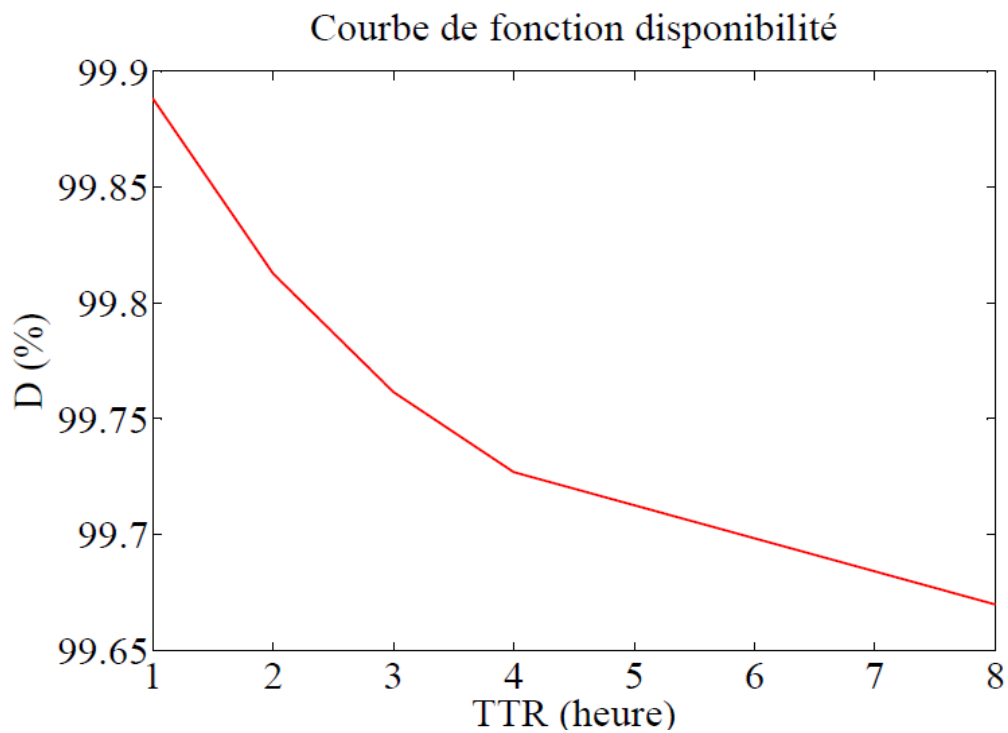


Figure IV.26 : Courbe de la disponibilité de l'appareil à cylindre.

- Pour l'élévateur, les deux figures suivantes montrent la maintenabilité et la disponibilité en fonction de temps de réparation TTR (figure IV.27 et figure IV.28) :

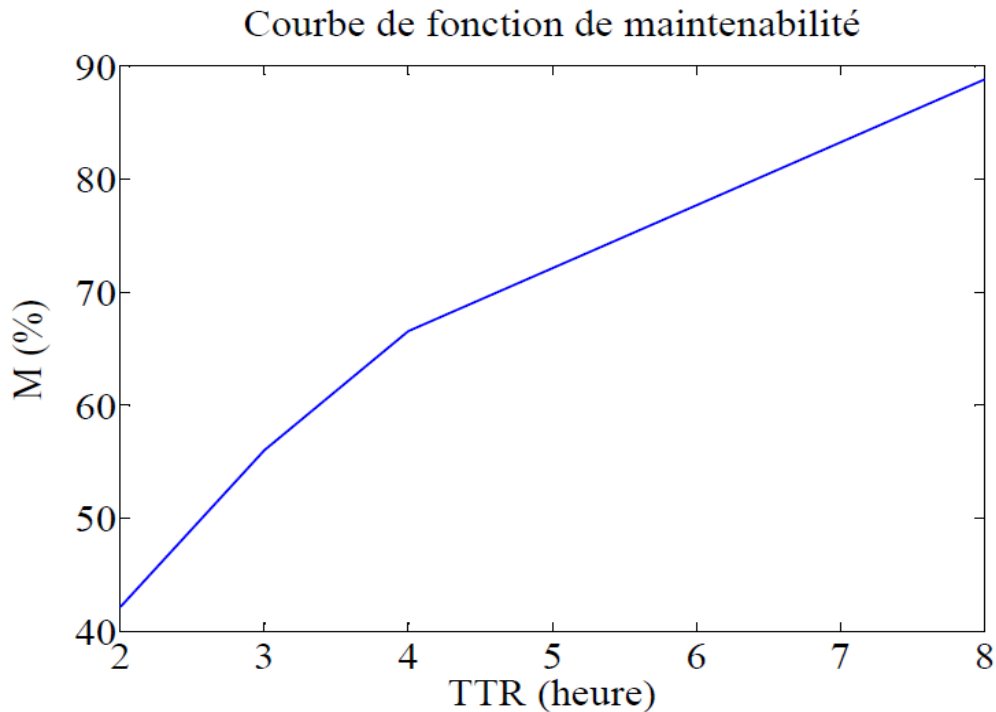


Figure IV.27 : Courbe de fonction de maintenabilité de l'élévateur.

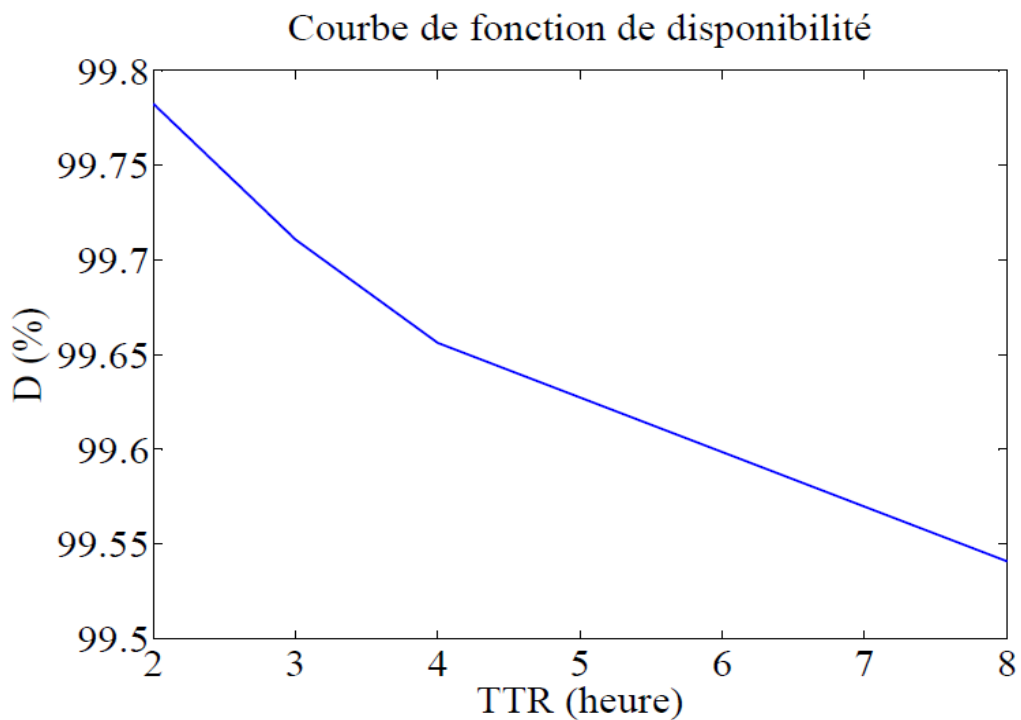


Figure IV.28 : Courbe de fonction de disponibilité de l'élévateur.

- Pour le ventilateur, les deux figures suivantes montrent la maintenabilité et la disponibilité en fonction de temps de réparation TTR (figure IV.29 et figure IV.30) :

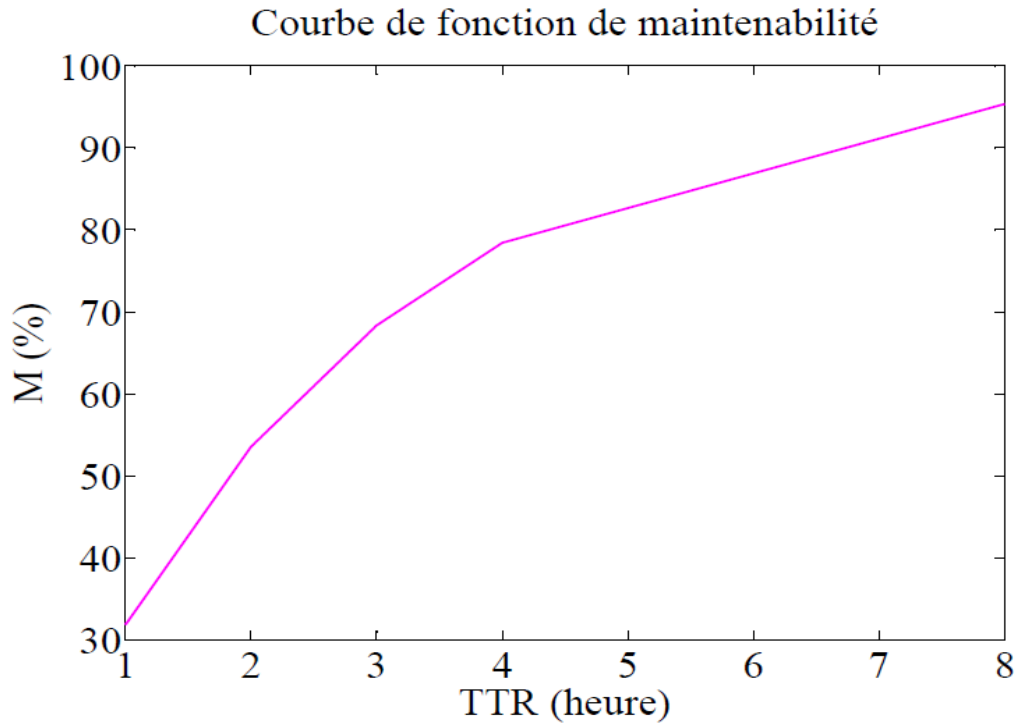


Figure IV.29 : Courbe de fonction de maintenabilité de ventilateur.

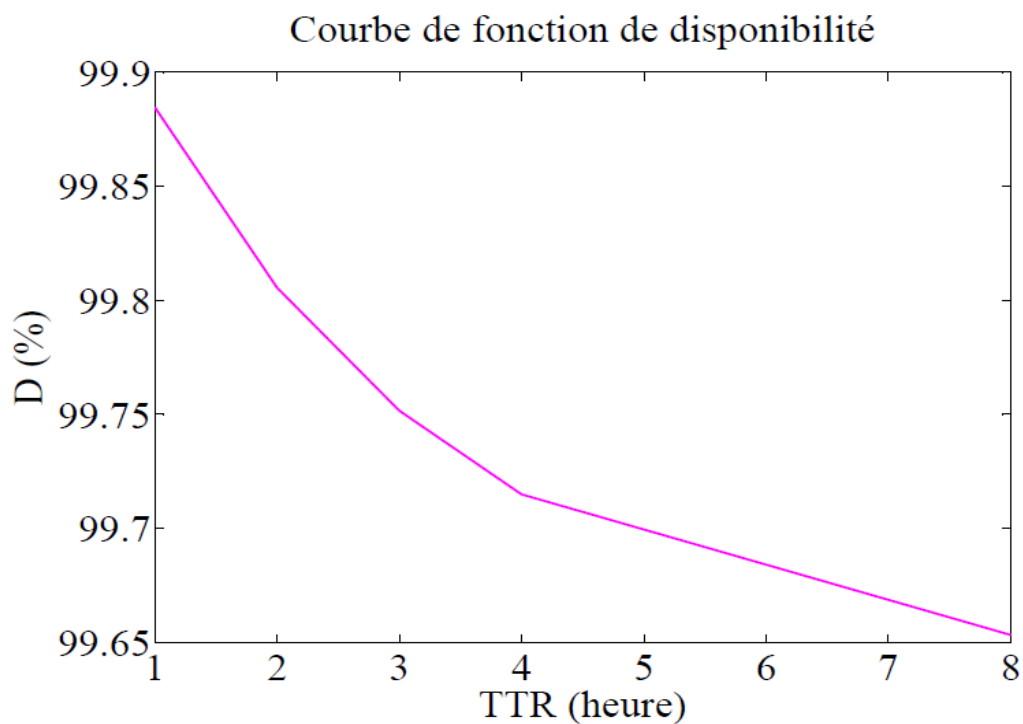


Figure IV.30 : Courbe de fonction de disponibilité de ventilateur.

- Pour la vis, les deux figures suivantes montrent la maintenabilité et la disponibilité en fonction de temps de réparation TTR (figure IV.31 et figure IV.32) :

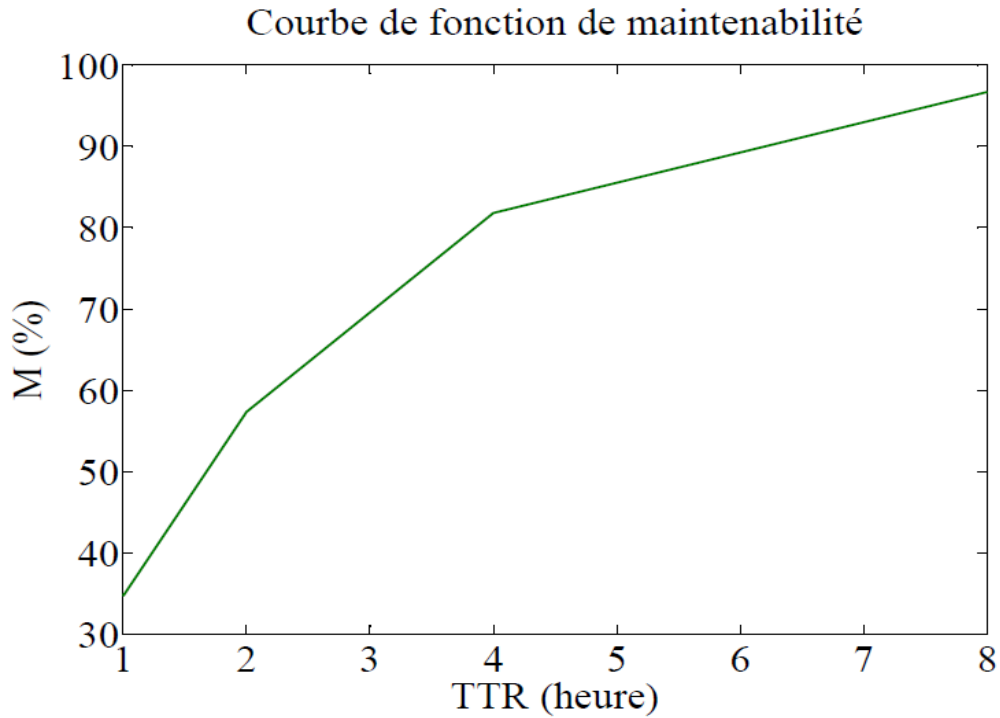


Figure IV.31 : Courbe de fonction de maintenabilité de la vis.

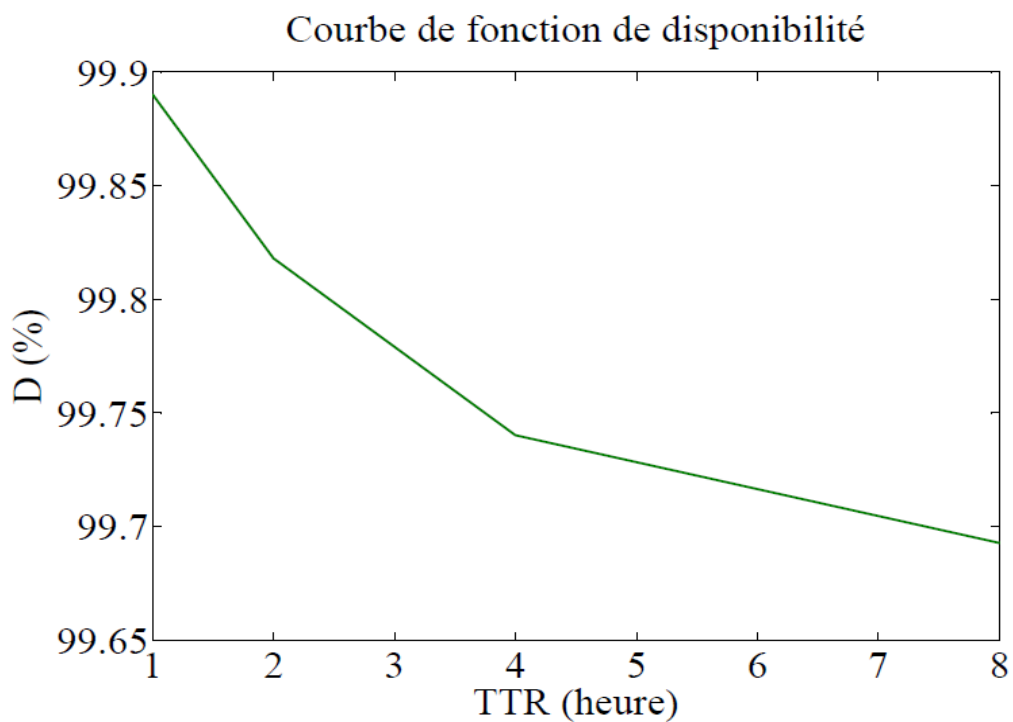


Figure IV.32 : Courbe de fonction de disponibilité de la vis.

Interprétation des courbes pour les quatre machines

Les figures IV.25, IV.27, IV.29 et IV.31 montrent la maintenabilité de l'appareil à cylindre, de l'élévateur, de ventilateur et de la vis en fonction du temps de réparation, d'après ces figures, on voit que la maintenabilité est une fonction croissante avec le temps. La maintenabilité de ces machines en fonction du temps de réparation est un aspect important à considérer dans la gestion de la maintenance. Des indicateurs tels que le MTTR et le taux de réparation permettent d'évaluer l'efficacité de la maintenabilité et d'identifier les opportunités d'amélioration pour réduire les temps d'arrêt et maximiser la disponibilité de ces machines.

Les figures IV.26, IV.28, IV.30 et IV.32 représentent la disponibilité de l'appareil à cylindre, de l'élévateur, de ventilateur et de la vis en fonction du temps de réparation, d'après ces figures, on observe que la disponibilité est une fonction décroissante avec le temps. En fonction du temps de réparation, la disponibilité de ces machines peut varier. Plus le temps de réparation est court (MTTR réduit), plus la disponibilité est élevée, car l'équipement est réparé rapidement et redevient opérationnel. À l'inverse, si le temps de réparation est long, la disponibilité peut diminuer, car l'appareil reste inutilisable pendant une période prolongée.

La disponibilité asymptotique D pour les quatre machines est :

- Pour l'appareil à cylindre : **MTBF = 740,347 heures** et **MTTR = 2,5652 heures**, la disponibilité asymptotique D est la suivante :

On a :
$$D = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR}$$

A.N :
$$D = \frac{740,347}{740,347+2,5652}$$

Donc :
$$D = 99,65 \%$$

- Pour l'élévateur : **MTBF = 702,646 heures** et **MTTR = 3,6522 heures**, la disponibilité asymptotique D est la suivante :

On a :
$$D = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR}$$

A.N :
$$D = \frac{702,646}{702,646+3,6522}$$

Donc :
$$D = 99,48 \%$$

- Pour le ventilateur : **MTBF = 714,648 heures** et **MTTR = 2,6087 heures**, la disponibilité asymptotique D est la suivante :

On a :
$$D = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR}$$

A.N :
$$D = \frac{714,648}{714,648+2,6087}$$

Donc :
$$D = 99,64 \%$$

- Pour la vis : **MTBF = 736,563 heures** et **MTTR = 2,3478 heures**, la disponibilité asymptotique D est la suivante :

On a :
$$D = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR}$$

A.N :
$$D = \frac{736,563}{736,563+2,3478}$$

Donc :
$$D = 99,68 \%$$

Enfin, les fiabilités de l'appareil à cylindre, de l'élévateur, du ventilateur et de la vis sont réduites, cela signifie qu'ils sont plus susceptibles de tomber en panne ou de ne pas fonctionner de manière fiable pendant une certaine période. Cela peut entraîner des temps d'arrêt non planifiés, une baisse de la productivité et des coûts de réparation plus élevés.

Pour optimiser les paramètres de la sûreté de fonctionnement des quatre systèmes, il doit extraire les éléments les plus tombent en panne de chaque système par l'utilisation de la courbe ABC et l'histogramme de Pareto pour les traiter.

IV.5. Analyse des défaillances de la chaîne de production

L'analyse des défaillances de la chaîne de production est une étape cruciale pour identifier les problèmes, les causes sous-jacentes et les actions correctives nécessaires. La courbe ABC et le diagramme de Pareto sont des outils d'analyse qui permettent de prioriser les problèmes ou les causes en fonction de leur impact ou de leur fréquence. Ils sont largement utilisés dans la gestion de la qualité et la gestion des opérations pour identifier les éléments les plus critiques ou les plus problématiques. Dans la suite, on utilise la courbe ABC et l'histogramme de Pareto pour extraire les éléments les plus défaillants de l'appareil à cylindre, de l'élévateur, du ventilateur et de la vis. Les tableaux suivants permettent de tracer les courbes ABC de ces quatre systèmes (tableau IV.21, IV.22, IV.23 et IV.24) :

Tableau IV.21 : Analyse des défaillances d'appareil à cylindre.

Pannes	Ti	$\sum Ti$	$\% \sum Ti$	Pi	$\sum Pi$	$\% \sum Pi$	
Changement de rouleau	16	16	26,23	2	2	8,33	A
Changement de moteur	8	24	39,34	2	4	16,67	
Changement de pignon	4	28	45,90	2	6	25,00	
Changement de polie	4	32	52,46	2	8	33,33	
Changement de roulement	4	36	59,02	2	10	41,67	
Changement de pompe hidrotique	4	40	65,57	1	11	45,83	
Réparation d'alimentation	4	44	72,13	1	12	50,00	
Changement de vérin pneumatique	3	47	77,05	1	13	54,17	
Changement de courroie	2	49	80,33	2	15	62,50	
Changement de contacteur	2	51	83,61	2	17	70,83	
Changement de relais thermique	2	53	86,89	2	19	79,17	
Intervention électrique	2	55	90,16	1	20	83,33	

Intervention électromécanique	2	57	93,44	1	21	87,50	
Réglage van d'alimentation	2	59	96,72	1	22	91,67	
Changement de disjoncteur	1	60	98,36	1	23	95,83	C
Changement de fusible	1	61	100	1	24	100	

Tableau IV.22 : Analyse des défaillances d'élévateur.

Pannes	Ti	$\sum Ti$	$\% \sum Ti$	Pi	$\sum Pi$	$\% \sum Pi$	
Changement de sangle	16	16	18,39	2	2	8,33	A
Changement de réducteur	8	24	27,59	2	4	16,67	
Changement d'axe	8	32	36,78	2	6	25,00	
Changement de motoréducteur	8	40	45,98	2	8	33,33	
Changement d'accouplement	8	48	55,17	2	10	41,67	
Changement glaffit de moteur	6	54	62,07	2	12	50,00	
Changement de palier	6	60	68,97	2	14	58,33	
Réglage table de motoréducteur	6	66	75,86	2	16	66,67	
Changement de roulement	4	70	80,46	2	18	75,00	
Réparation de sangle	4	74	85,06	1	19	79,17	
Réparation de glaffit de moteur	3	77	88,51	1	20	83,33	
Réglage de sangle	3	80	91,95	1	21	87,50	
Intervention mécanique	3	83	95,40	1	22	91,67	C
Réparation de réducteur	2	85	97,70	1	23	95,83	
Intervention électrique	2	87	100	1	24	100	

Tableau IV.23 : Analyse des défaillances de ventilateur.

Pannes	Ti	ΣTi	$\% \Sigma Ti$	Pi	ΣPi	$\% \Sigma Pi$	
Changement turbine de ventilateur	16	16	25,81	2	2	8,33	A
Changement de moteur	8	24	38,71	2	4	16,67	
Changement de ventilateur	8	32	51,61	1	5	20,83	
Changement d'accouplement	6	38	61,29	3	8	33,33	
Changement de roulement	4	42	67,74	2	10	41,67	
Changement sortie de ventilateur	4	46	74,19	1	11	45,83	
Intervention mécanique	3	49	79,03	1	12	50,00	
Changement de courroie	3	52	83,87	3	15	62,50	B
Changement de fusible	2	54	87,10	2	17	70,83	
Changement de relais thermique	2	56	90,32	2	19	79,17	
Changement de disjoncteur	2	58	93,55	2	21	87,50	C
Changement de contacteur	2	60	96,77	2	23	95,83	
Réglage du câblage de moteur	2	62	100	1	24	100	

Tableau IV.24 : Analyse des défaillances de vis.

Pannes	Ti	ΣTi	$\% \Sigma Ti$	Pi	ΣPi	$\% \Sigma Pi$	
Soudage de plongeur de vis	16	16	28,57	2	2	8,33	A
Changement d'accouplement	6	22	39,29	3	5	20,83	
Changement de moteur	6	28	50,00	3	8	33,33	
Changement de palier	6	34	60,71	3	11	45,83	

Changement de motoréducteur	4	38	67,86	2	13	54,17	A
Changement de pignon	4	42	75,00	2	15	62,50	
Intervention mécanique	4	46	82,14	1	16	66,67	
Changement de relais thermique	2	48	85,71	2	18	75,00	B
Changement de disjoncteur	2	50	89,29	2	20	83,33	
Raccordement d'axe de vis	2	52	92,86	1	21	87,50	
Réglage de moteur	2	54	96,43	1	22	91,67	
Changement de statuer	1	55	98,21	1	23	95,83	C
Changement de Contacteur	1	56	100	1	24	100	

Les résultats de ces quatre tableaux facilitent de tracer les courbes ABC et les histogrammes de Pareto pour l'appareil à cylindre, de l'élevateur, du ventilateur et de la vis comme illustrés sur les figures suivantes :

Courbe ABC : Appareil à cylindre

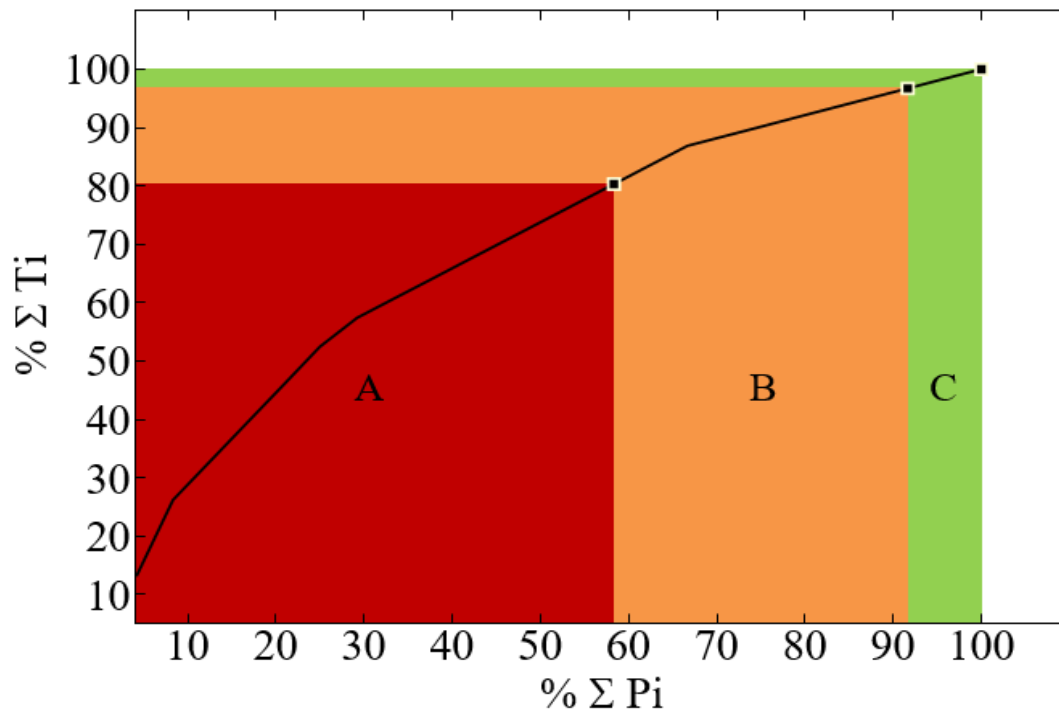


Figure IV.33 : Courbe ABC de l'appareil à cylindre.

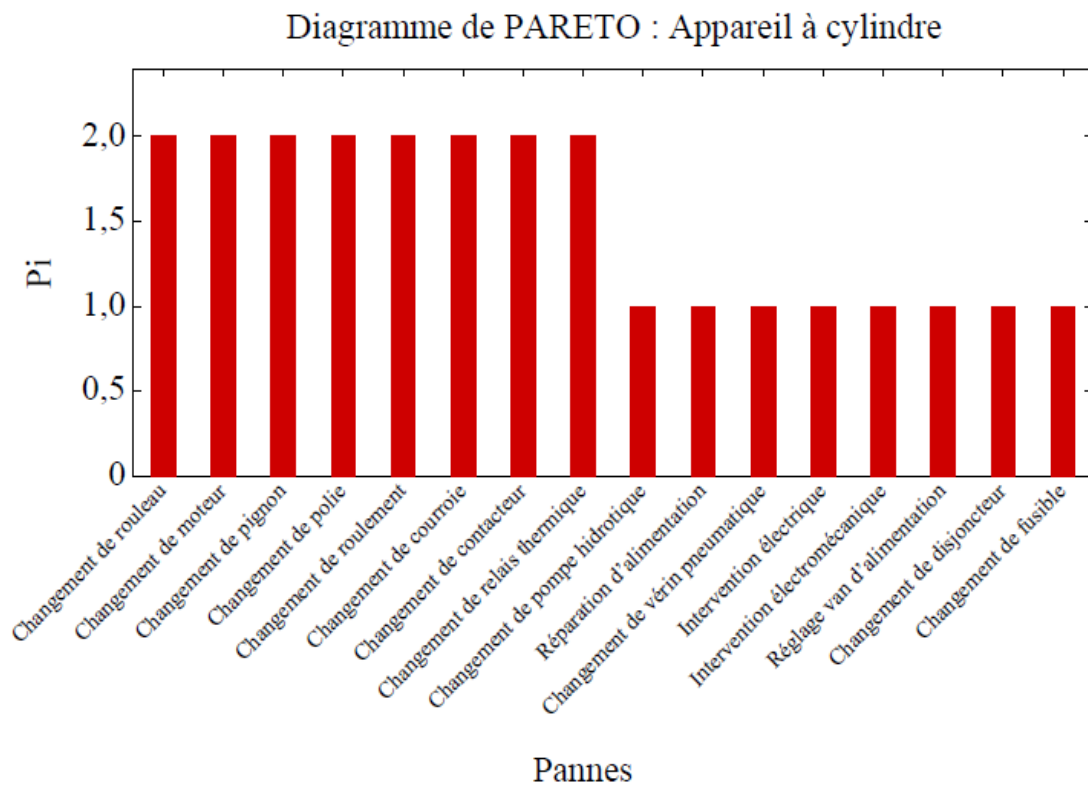


Figure IV.34 : Diagramme de PARETO d'appareil à cylindre.

D'après la figure IV.33, nous voyons que 54,17 % des pannes provoquent 77,05 % de temps d'arrêt, cette zone est la zone A, c'est la zone prioritaire pour l'intervention ensuite 37,5 % des pannes provoquent 19,67 % de temps d'arrêt, cette zone est la zone B et finalement, les 8,33 % restant ne représentent qu'à 3,28 % de temps d'arrêt cette zone est la zone C.

D'après la figure IV.34, nous voyons les pannes (changement de rouleau jusqu'au changement de relie thermique) sont les pannes ont les grands nombres d'apparition, donc ces pannes sont les pannes les plus importants et les pannes prioritaires à traiter et attaquer.

Courbe ABC : Elévateur

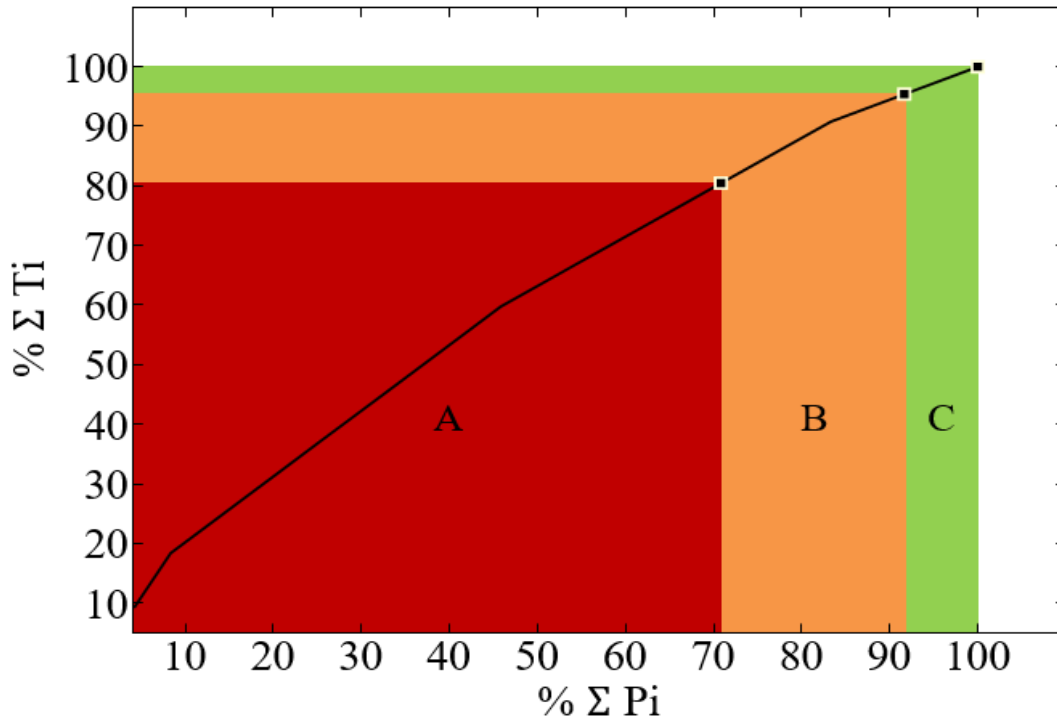


Figure IV.35 : Courbe ABC d'élévateur.

Diagramme de PARETO : Elévateur

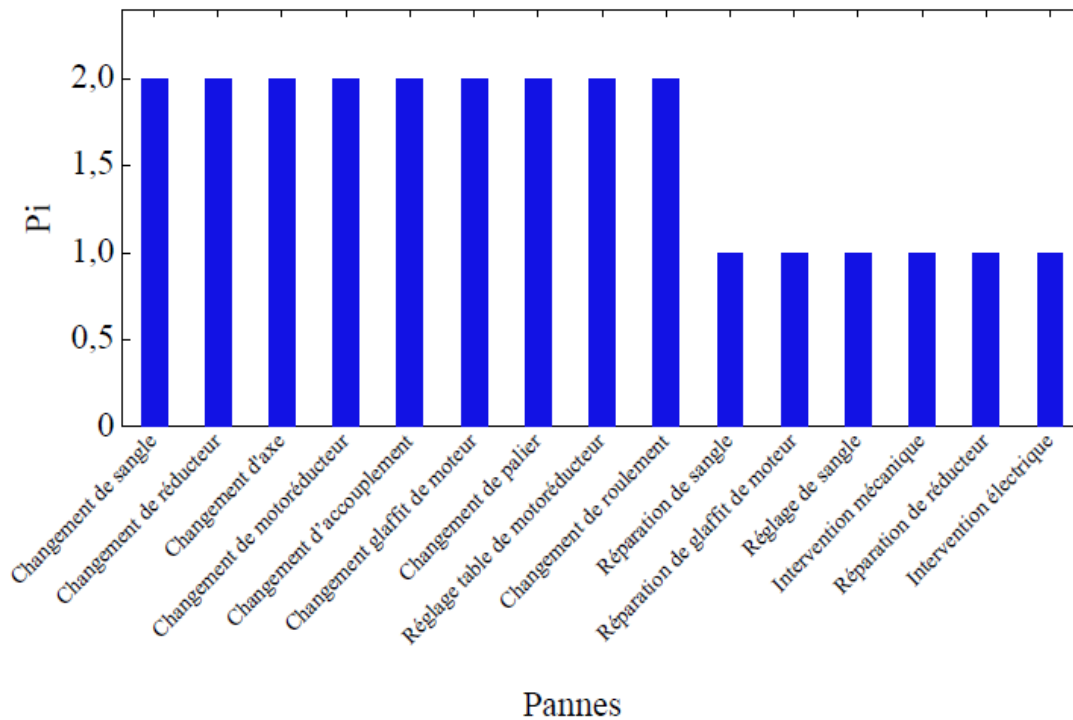


Figure IV.36 : Diagramme de PARETO d'élévateur.

D'après la figure IV.35, nous remarquons que 66,67 % des pannes provoquent 75,86 % de temps d'arrêt, cette zone est la zone A, c'est la zone prioritaire pour l'intervention ensuite 25 % des pannes provoquent 19,54 % de temps d'arrêt, cette zone est la zone B et les 8,33 % restant ne représentent qu'à 4,6 % de temps d'arrêt, cette zone est la zone C.

D'après la figure IV.36, nous remarquons les pannes (changement de sangle jusqu'au changement de roulement) sont les pannes ont les grands nombres d'apparition, donc ces pannes sont les pannes les plus importants et les pannes prioritaires à traiter et attaquer.

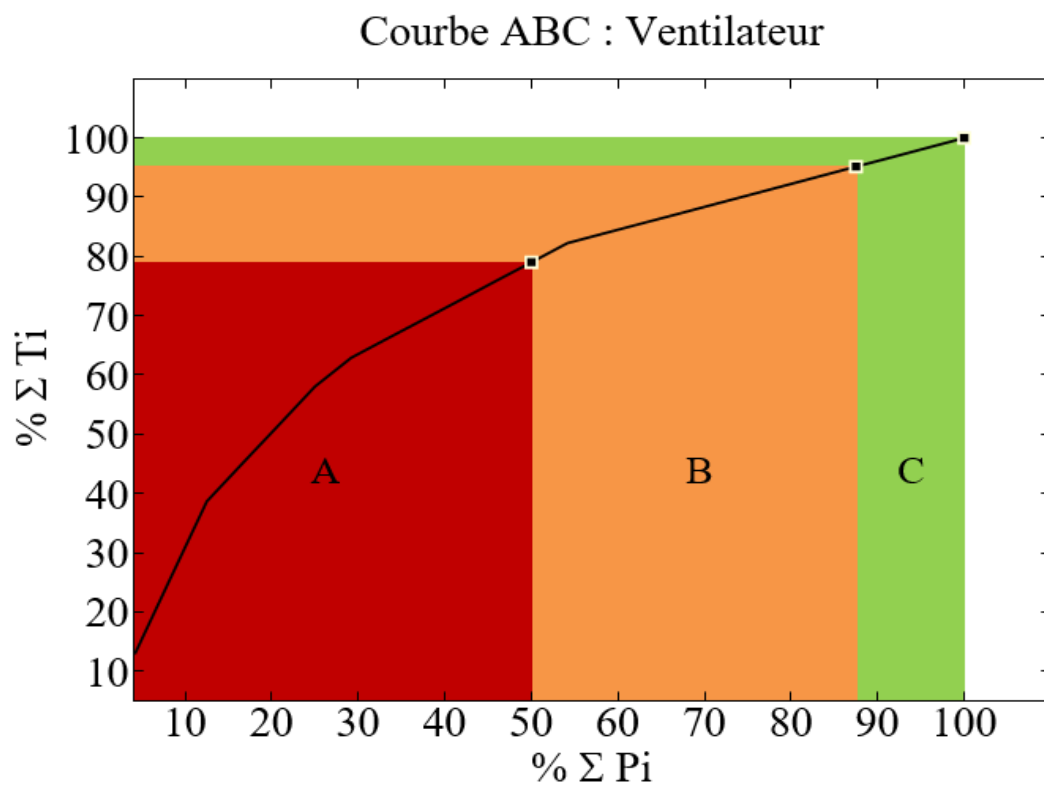


Figure IV.37 : Courbe ABC de ventilateur.

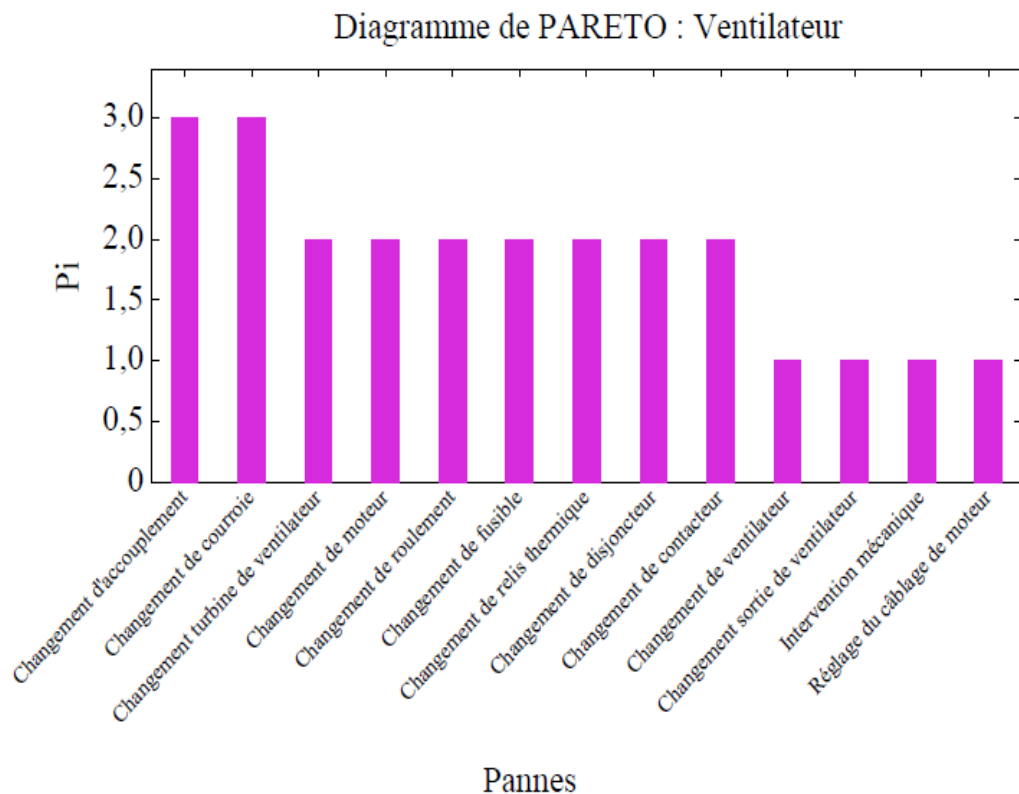


Figure IV.38 : Diagramme de PARETO de ventilateur.

D'après la Figure IV.37, nous voyons que 45,83 % des pannes provoquent 74,19 % de temps d'arrêt, cette zone est la zone A, c'est la zone prioritaire pour l'intervention ensuite 41,67 % des pannes provoquent 19,36 % de temps d'arrêt cette zone est la zone B et les 12,5 % restant ne représentent qu'à 6,45 % de temps d'arrêt, cette zone est la zone C.

D'après la figure IV.38, nous observons les pannes (changement d'accouplement jusqu'au changement de contacteur) sont les pannes ont les grands nombres d'apparition, donc ces pannes sont les pannes les plus importants et les pannes prioritaires à traiter et attaquer.

Courbe ABC : Vis

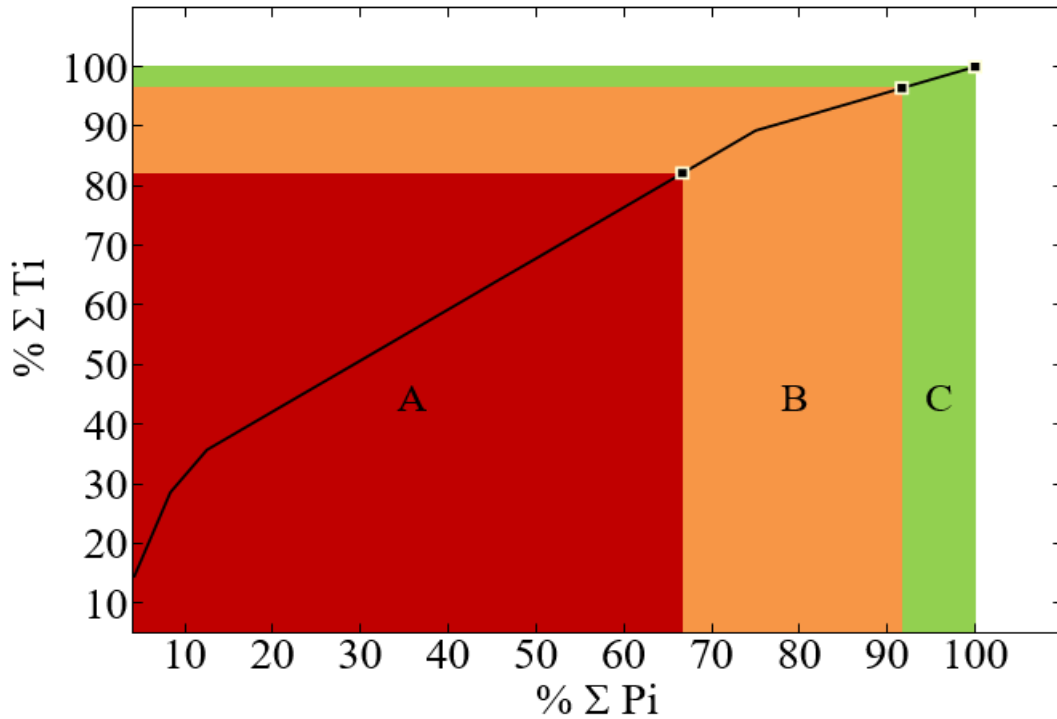


Figure IV.39 : Courbe ABC de vis.

Diagramme de PARETO : Vis

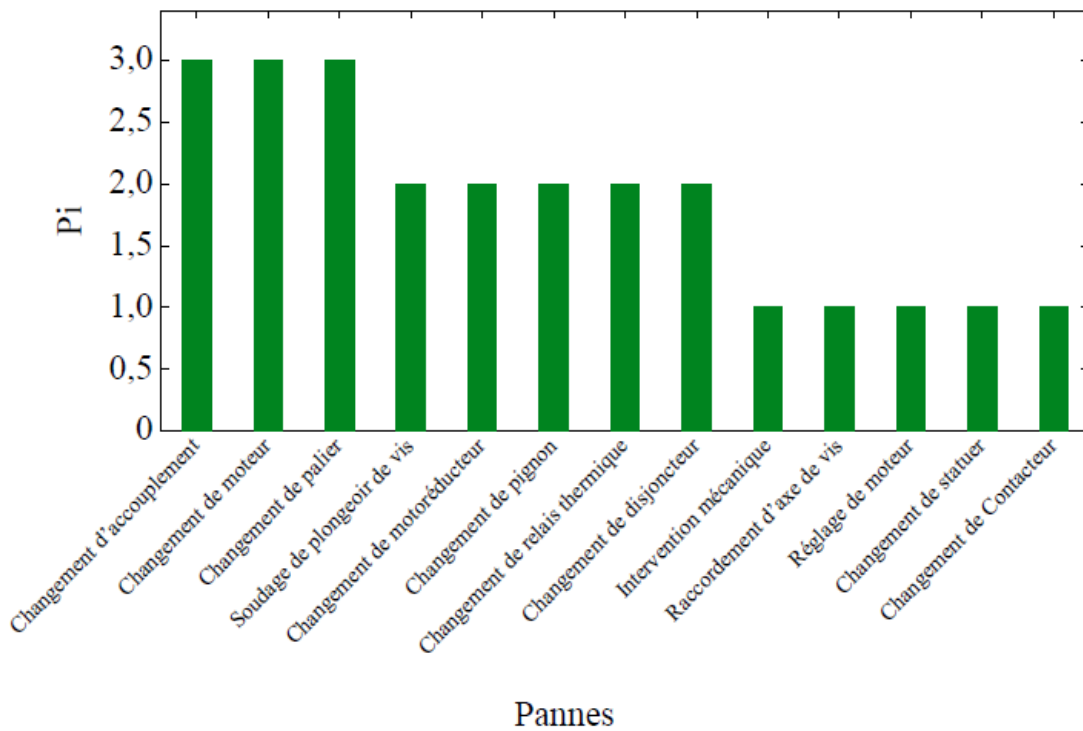


Figure IV.40 : Diagramme de PARETO de vis.

D'après la figure IV.39, nous voyons que 66,67 % des pannes provoquent 82,14 % de temps d'arrêt, cette zone est la zone A, c'est la zone prioritaire pour l'intervention ensuite 25 % des pannes provoquent 14,29 % de temps d'arrêt, cette zone est la zone B et les 8,33 % restant ne représentent qu'à 3,57 % de temps d'arrêt, cette zone est la zone C.

D'après la figure IV.40, nous voyons les pannes (changement d'accouplement jusqu'au changement de disjoncteur) sont les pannes ont les grands nombres d'apparition, donc ces pannes sont les pannes les plus importants et les pannes prioritaires à traiter et attaquer.

Il est possible d'optimiser les paramètres de la sûreté de fonctionnement des quatre systèmes par la proposition des solutions concernant les éléments les plus défaillants, ce qui contribue à améliorer la productivité, la qualité et la rentabilité globale de l'entreprise.

IV.6. Solutions suggérées

Pour résoudre les défauts et les problèmes dans la chaîne de production, voici quelques solutions et recommandations possibles :

1. Nettoyage régulier des équipements et de l'environnement

1.1. Nettoyage des équipements :

- Établir un calendrier de nettoyage mensuel pour chaque équipement, en tenant compte de leur utilisation et de leur degré de salissure.
- Utiliser des produits de nettoyage adaptés à chaque type d'équipement et respecter les instructions du fabricant.
- Veiller à ce que les employés chargés du nettoyage soient formés aux bonnes pratiques de nettoyage, y compris l'utilisation des équipements de protection individuelle (EPI) appropriés.
- Inspecter régulièrement les équipements après le nettoyage pour détecter les éventuels problèmes de fonctionnement ou de sécurité.

1.1. Nettoyage de l'environnement

- Établir un plan de nettoyage quotidien pour l'environnement de travail, en identifiant les zones prioritaires, telles que les zones de production, les zones de stockage et les espaces communs.
- Assigner des responsabilités claires aux membres du personnel pour le nettoyage quotidien, en précisant les tâches spécifiques à effectuer.
- Fournir les outils et les produits nécessaires pour le nettoyage, tels que des aspirateurs, des balais, des chiffons, des désinfectants, etc.
- Encourager la sensibilisation des employés à l'importance du nettoyage de l'environnement et les impliquer dans le maintien de la propreté.

2. Lubrification et graissage des roulements après chaque action de nettoyage

Effectuer la lubrification et le graissage des roulements après chaque action de nettoyage est une pratique importante pour assurer le bon fonctionnement des roulements et prolonger leur durée de vie.

3. Changement des pièces consommables

Le changement régulier des pièces consommables telles que les roulements et les courroies selon leur durée de vie recommandée par le fabricant et les conditions d'utilisation est une pratique essentielle pour assurer le bon fonctionnement de la chaîne de production. Voici quelques conseils pour gérer le remplacement de ces pièces :

- 1- Suivre les recommandations du fabricant :
 - Consultez les spécifications du fabricant pour connaître la durée de vie prévue des pièces consommables, ainsi que les intervalles recommandés pour leur remplacement.
 - Tenez compte des conditions d'utilisation spécifiques de la chaîne de production, telles que la charge, la vitesse, la température et l'environnement, qui peuvent influencer la durée de vie des pièces.

2- Établir un plan de remplacement préventif :

- Créez un plan de maintenance préventive qui inclut le remplacement systématique des pièces consommables à des intervalles spécifiques.
- Planifiez les travaux de remplacement de manière à minimiser les temps d'arrêt de la production et à assurer une transition en douceur vers les nouvelles pièces.

3- Surveiller l'état des pièces :

- Effectuez des inspections régulières pour évaluer l'état des pièces consommables.
- Recherchez des signes de détérioration, tels que l'usure excessive, les fissures, les déformations ou les bruits anormaux.
- Utilisez des techniques de surveillance, telles que l'analyse vibratoire, la thermographie ou l'inspection visuelle, pour détecter les problèmes potentiels avant qu'ils ne conduisent à des pannes.

4- Utiliser des pièces de qualité :

- Assurez-vous d'acheter des pièces de rechange auprès de fournisseurs fiables, qui garantissent la conformité aux spécifications du fabricant.
- Optez pour des pièces de qualité supérieure qui offrent des performances et une durabilité optimale, même si elles peuvent être légèrement plus coûteuses à l'achat.

5- Tenir des registres et des historiques :

- Gardez une trace des dates et des détails des remplacements effectués, y compris les pièces remplacées, les durées de vie, les raisons du remplacement, etc.
- Analysez ces données pour détecter des schémas ou des tendances de défaillance, ce qui peut vous aider à ajuster les intervalles de remplacement et à prendre des mesures correctives si nécessaire.

4. Utilisation de la redondance passive pour les moteurs électriques

L'utilisation de la redondance passive est une stratégie couramment utilisée pour améliorer la fiabilité et la disponibilité des moteurs électriques dans la chaîne de production. La redondance passive consiste à ajouter un moteur électrique supplémentaire ou de secours qui n'est pas actif en permanence, mais qui peut prendre le relais en cas de défaillance du moteur principal. L'objectif de cette redondance est d'éviter la panne et éliminer le vieillissement des moteurs électriques [47].

5. Surveillance continue de la chaîne de production

Pour la surveillance et la détection des défauts au stade précoce, il faut utiliser les techniques de la maintenance préventive conditionnelle suivantes :

L'analyse vibratoire : L'analyse vibratoire est une technique utilisée pour évaluer l'état de fonctionnement des machines et des équipements en mesurant les vibrations qu'ils émettent. Cette technique permet de détecter les anomalies, les déséquilibres, les défauts de lubrification, les problèmes de roulement, les fissures et d'autres problèmes mécaniques. Dans le contexte de la sûreté de fonctionnement d'une chaîne de production, l'analyse vibratoire peut être utilisée de la manière suivante [48-55] :

1. **Détection précoce des défauts** : En surveillant régulièrement les vibrations des machines, vous pouvez détecter les signes précoces de défauts mécaniques. Cela permet d'identifier les problèmes avant qu'ils ne se transforment en pannes majeures, ce qui permet d'éviter les temps d'arrêt coûteux et les dommages aux équipements.
2. **Identification des causes profondes** : L'analyse vibratoire permet d'identifier les causes profondes des vibrations anormales. Cela permet de déterminer si les vibrations sont causées par des déséquilibres, des jeux excessifs, des problèmes de roulement, des problèmes de lubrification ou d'autres facteurs. En identifiant la cause sous-jacente, vous pouvez prendre des mesures correctives appropriées pour résoudre le problème.
3. **Surveillance de l'efficacité des actions de maintenance** : Après avoir effectué des réparations ou des actions de maintenance sur les machines, l'analyse vibratoire peut être utilisée pour vérifier l'efficacité de ces interventions. En comparant les mesures de vibrations avant et après les actions de maintenance, vous pouvez évaluer l'impact des réparations et vous assurer que les problèmes ont été résolus de manière satisfaisante.

4. Planification de la maintenance préventive : En utilisant l'analyse vibratoire, vous pouvez déterminer les intervalles optimaux pour les actions de maintenance préventive. Les mesures régulières des vibrations permettent de suivre l'évolution des conditions de fonctionnement des machines et d'identifier les moments où les actions de maintenance sont nécessaires. Cela permet de planifier les activités de maintenance de manière proactive, en évitant les pannes imprévues et en optimisant la durée de vie des équipements.

L'analyse vibratoire nécessite des instruments spécifiques pour mesurer les vibrations, ainsi que des compétences techniques pour interpréter les données collectées. Il est donc important de former le personnel et d'investir dans les équipements appropriés pour une utilisation efficace de cette technique. En l'intégrant dans la gestion de la sûreté de fonctionnement de la chaîne de production, l'analyse vibratoire peut contribuer à améliorer la fiabilité, la disponibilité et la performance globale des équipements.

La thermographie infrarouge : L'utilisation de la thermographie infrarouge dans la maintenance préventive permet d'identifier les problèmes potentiels avant qu'ils ne se transforment en pannes coûteuses. Cela permet d'améliorer la sûreté de fonctionnement de la chaîne de production, de réduire les temps d'arrêt non planifiés et d'optimiser les performances globales [48]. Il est important de mettre en place des programmes d'inspection réguliers et d'assurer la formation du personnel pour une utilisation efficace de la thermographie infrarouge dans le cadre de la maintenance préventive.

Dans le contexte de la sûreté de fonctionnement d'une chaîne de production, la thermographie infrarouge peut être utilisée de la manière suivante :

- Détection des surchauffes : La thermographie infrarouge permet de détecter les zones de surchauffe sur les équipements. Cela peut indiquer un dysfonctionnement, un mauvais alignement, une lubrification insuffisante, une obstruction ou tout autre problème qui peut entraîner des pannes ou une détérioration prématurée.
- Surveillance préventive : En effectuant régulièrement des inspections par thermographie infrarouge, vous pouvez identifier les anomalies thermiques avant qu'elles ne se transforment en problèmes majeurs. Cela permet d'anticiper les pannes, de planifier des actions correctives et de réduire les temps d'arrêt imprévus.

- Évaluation de la performance des équipements : La thermographie infrarouge peut également être utilisée pour évaluer la performance des équipements en mesurant les variations de température lors de leur fonctionnement normal. Cela permet de détecter les variations anormales et d'optimiser les paramètres de fonctionnement pour améliorer la sûreté de fonctionnement.
- Inspection de l'isolation thermique : La thermographie infrarouge peut être utilisée pour vérifier l'efficacité de l'isolation thermique des équipements, des tuyauteries ou des conduites. Les fuites thermiques peuvent indiquer des pertes d'énergie, des problèmes d'isolation ou des dégradations, nécessitant ainsi une intervention pour prévenir les pannes ou les pertes de performance.

IV.7. Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons examiné l'historique des pannes de l'appareil à cylindre, de l'élévateur, du ventilateur et de la vis lors de notre stage chez l'entreprise AGRODIV M'SILA. Cet historique nous a permis de calculer les temps de bon fonctionnement de la presse en fonction de ses conditions d'utilisation. En utilisant le logiciel de simulation MINITAB, nous avons calculé la fiabilité, le taux de défaillance, la fonction de répartition, la densité de probabilité, la maintenabilité et la disponibilité de quatre systèmes.

Les résultats obtenus ont montré que la fiabilité de l'appareil à cylindre, de l'élévateur, du ventilateur et de la vis diminuait avec le temps, ce qui signifie qu'elle était de moins en moins fiable. De plus, le temps de panne et le taux de défaillance de la presse augmentaient progressivement, ce qui indique une tendance croissante des pannes.

À la lumière de ces résultats, nous avons identifié les éléments les plus sujets aux pannes et proposé des solutions pour améliorer leur fiabilité et réduire les temps d'arrêt. Ces solutions peuvent inclure des actions de maintenance préventive plus fréquentes sur les composants critiques, l'amélioration de la qualité des pièces de rechange, la formation du personnel de maintenance pour une meilleure gestion des pannes, etc.

Conclusion générale

Au cours de notre stage chez l'entreprise AGRODIV M'SILA, nous avons analysé l'historique des pannes de l'appareil à cylindre, de l'élévateur, du ventilateur et de la vis. Ces analyses nous ont permis de calculer les temps de bon fonctionnement de ces systèmes en fonction de leurs conditions d'utilisation. En utilisant le logiciel de simulation MINITAB, nous avons appliqué le test KS sur les quatre systèmes choisis pour choisir la loi convenable pour évaluer la fiabilité, le taux de défaillance, la fonction de répartition, la densité de probabilité, la maintenabilité et la disponibilité de ces systèmes.

Les résultats obtenus ont révélé une diminution de la fiabilité au fil du temps pour l'appareil à cylindre, l'élévateur, le ventilateur et la vis. Cela signifie que ces systèmes deviennent moins fiables et plus susceptibles de subir des pannes. Les temps de panne et les taux de défaillance ont également montré une tendance croissante, indiquant une augmentation des pannes au fil du temps.

Sur la base de ces résultats, nous avons identifié les composants les plus sujets aux pannes et proposé des solutions pour améliorer leur fiabilité et réduire les temps d'arrêt. Ces solutions peuvent comprendre une planification et une exécution régulières de la maintenance préventive, l'utilisation de pièces de rechange de meilleure qualité, l'amélioration des procédures de maintenance, ainsi que la formation du personnel pour une meilleure gestion des pannes.

Il est également important de souligner que la maintenance joue un rôle crucial dans la performance globale de l'entreprise. En assurant le bon fonctionnement des outils de production, la maintenance contribue à augmenter la disponibilité des équipements, à réduire les arrêts non planifiés, à prévenir les détériorations et à garantir la qualité des produits fabriqués. Par conséquent, il est essentiel de mettre en place des stratégies de maintenance efficaces et adaptées aux besoins et objectifs de l'entreprise.

Références

- [1] HALIMI Djamel. Contribution à l'amélioration de la maintenance préventive des machines dynamiques dans l'industrie des hydrocarbures. 2014.
- [2] VRIGNAT Pascal. Génération d'indicateurs de maintenance par une approche semi-paramétrique et par une approche markovienne. Université d'Orléans. 2012.
- [3] ALIOUAT Wahiba. Le problème conjoint de l'ordonnancement de la production et de planification de la maintenance : cas du Flow Shop Flexible. Université M'Hamed Bougara Boumerdès. 2014.
- [4] HADIBI Abdelhak. Optimisation de la maintenance préventive par les algorithmes génétiques. University of Souk Ahras. 2016.
- [5] BAHMANI Younes. Optimisation multicritère de l'ordonnancement des activités de la production et de la maintenance intégrées dans un atelier Job Shop. Université de Batna 2. 2017.
- [6] MONCHY François. VERNIER Jean-Pierre. Maintenance-3e éd: Méthodes et organisations. Hachette. 2010.
- [7] HENG Jean. Pratique de la maintenance préventive-4e éd. Dunod. 2017.
- [8] BENAICHA Halima. Analyse des stratégies de maintenance des systèmes de production industrielle. University of sciences and technology in Oran. 2015.
- [9] DEBBAH Younes. Développement d'un outil de pronostic pour la maintenance des systèmes mécaniques. Université Frères Mentouri-Constantine. 2018.
- [10] AMEUR Zouina. Informatisation de la maintenance d'une entreprise textile cas pratique « filba unite de texalg spa ». Université de Batna 2. 2015.
- [11] SEMOUHI Laid. Etude De Maintenance D'une Turbine à gaz « MS 5002D ». Université Mohamed Boudiaf-M'Sila. 2012.
- [12] MEKROUD Noureddine. Intégration des techniques du datamining dans le processus de gestion des connaissances basée sur le raisonnement à partir de cas : application a la maintenance industrielle. 2009.
- [13] COCHETEUX Pierre. Contribution à la maintenance proactive par la formalisation du processus de pronostic des performances de systèmes industriels. Université Henri Poincaré-Nancy 1. 2010.
- [14] RASOVSKA Ivana. Contribution à une méthodologie de capitalisation des connaissances basée sur le raisonnement à partir de cas : Application au diagnostic dans une plateforme d'e-maintenance. Université de Franche-Comté. 2006.
- [15] ABOU Rosa. Contribution à la mise en oeuvre d'une maintenance centralisée : conception et optimisation d'un atelier de maintenance. Université Joseph-Fourier-Grenoble I. 2003.
- [16] BEKKAOUI Mokhtaria. Contribution à la gestion des connaissances dans la plateforme de S-Maintenance : une approche sémantique pour la sélection d'experts. 2018.
- [17] BENOUDA Nacéra. Modélisation et gestion des activités de maintenance dans les systèmes de production. 2018.
- [18] BOUZOUADA Abdallah. Thèse de doctorat. Doctoral dissertation, Université de Mostaganem. 2021.

- [19] KHELIFI Fateh. Sûreté de fonctionnement et fiabilité des circuits de l'électronique de puissance. Boumerdes, Université M'hamed Bougara. Faculté des hydrocarbures et de la chimie. 2008.
- [20] HAMDY Achta. Etude de Fiabilité et Sûreté de Fonctionnement des Composants Electroniques. 2015.
- [21] EMBAREK Mohamed Cherif. Développement d'une méthode de contrôle pour l'amélioration de la sûreté de fonctionnement des installations industrielles stratégiques. Annaba. 2012.
- [22] BACHA Sidali. Vers une contribution de la sûreté de fonctionnement des équipements pétroliers en Algérie. Université Frères Mentouri-Constantine 1. 2021.
- [23] BERREHAL Ryma. Détermination de la périodicité optimale pour le remplacement préventif. Université Frères Mentouri-Constantine 1. 2017.
- [24] RAHMANI Boubakr. Economie circulaire en électronique de puissance : opportunité de la conception Multi-cellulaire. Université Grenoble Alpes. 2022.
- [25] VERA Abdessemed. Contribution à l'analyse et l'amélioration de la fiabilité des machines électriques. Université de Batna 2. 2012.
- [26] NOUNE Mohamed Saïd. Optimisation des mesures de la sûreté de fonctionnement au niveau de l'ONA Batna. Université de Batna 2. 2015.
- [27] LOUAIL Moussa. Etude de la maintenance industrielles application de dattes de Tolga de l'Université de Biskra. 2020.
- [28] AGGAB Toufik. Evaluation prévisionnelle de la sûreté de fonctionnement d'un système industriel utilisé dans un contexte de maintenance dynamique. Université de Boumerdès-M'hamed Bougara. 2011.
- [29] BOUMELITA Djamila. Contribution à l'étude de la sûreté de fonctionnement d'un système d'alimentation en eau potable. Université Badji Mokhtar-Annaba. 2019.
- [30] DJERIDI Radhouane. Contribution à la maîtrise de la disponibilité de systèmes complexes : Proposition d'une méthode de réordonnancement proactif de la maintenance. Paris, ENSAM. 2010.
- [31] DEMRI Amel. Contribution à l'évaluation de la fiabilité d'un système mécatronique par modélisation fonctionnelle et dysfonctionnelle. Université d'Angers. 2009.
- [32] CASTANEDA Gabriel Antonio Perez. Evaluation par simulation de la sûreté de fonctionnement de systèmes en contexte dynamique hybride. Institut National Polytechnique de Lorraine-INPL. 2009.
- [33] ZOUAIRI Saim. Approche Bayésienne pour la Sûreté de Fonctionnement de la chaudière N° 2 du Complexe GNL4Z. Université Mohamed Ben Ahmed d'Oran 2. 2009.
- [34] MEBARKIA Djalal. Recherche d'une solution optimale d'exploitation et de maintenance des gazoducs algériens tenant compte de la fiabilité des équipements des différentes lignes. Université de Boumerdès-M'hamed Bougara. 2013.
- [35] HELLEL El Kadi. Fiabilité des systèmes énergétiques multi-sources. Université Mouloud Mammeri. 2019.
- [36] BOUTEMEDJET Chouaib. Sûreté de fonctionnement et évaluation de performance du système de production du champ gazier de Menzel Ledjmet East (MLE). 2015.
- [37] BOUCKIKHI Chir. Contribution à l'élaboration d'une méthode d'estimation du paramètre d'origine du modèle Weibull standard. Université Ahmed Ben Bella - Oran 1. 2013.

- [38] MERROUCHE Nacereddine, BOUSBA Farid Abdel Mouemine. Gestion de la maintenance intégrée de la machine à tubes RM 6 B au niveau de l'entreprise « IRRAGRIS » BBA. Université Mohamed Boudiaf-M'Sila. 2008.
- [39] LOGHRAB Feteh, SIDI MOHAMED Ould Yeye, BEN ABDERRAHMAN Thameur. Contribution à l'amélioration des performances de la maintenance par l'utilisation des files d'attentes. Université Mohamed Boudiaf-M'Sila, 2011.
- [40] BELAL Smail. Modélisation et analyse de sûreté des systèmes par arbre de défaillance. Université Mouloud Mammeri. 2011.
- [41] HOUHOU Mourad. Evaluation de la fiabilité et de la disponibilité des systèmes mécaniques par la méthodologie ArdeBayes. 2012.
- [42] KHERBOUCHE Amine, BOUTALBI Mabrouk. 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). 2019.
- [43] KERKAR Smail, HAMMOUDA Baelhadj. Optimisation de la maintenance préventive d'un transformateur de puissance 220/60 KV. 2020.
- [44] ZERBANI Abdelkader. Etude technique et optimisation de la maintenance préventive de la machine de chanfreinage. 2021.
- [45] YAGHLA Mohammed Amine, KEMCHA Abdeldjalil. Etude de fiabilité et analyse des risques de défaillances des pompes centrifuges PM113A, B et C du complexe Topping de condensat (RA2K) de Skikda. 2020.
- [46] AHMED Salah, MAHDEE Aljammal. Amélioration des Performances de la Maintenance d'un Système de Production. Université Mohamed Boudiaf-M'Sila. 2020.
- [47] BOUCHEMAL Moncef. "Amélioration d'une politique de maintenance en milieu industriel par application d'une approche évaluative." (2022).
- [48] GHEMARI Zine « Modélisation, simulation et analyse expérimentale du capteur de vibration (accéléromètre) » Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar Annaba, 2013.
- [49] GHEMARI Zine et all « Mechanical Resonator Sensor Characteristics Development for Precise Vibratory Analysis » Sensing and Imaging 22 (1) 2022, PP : 1-12.
- [50] GHEMARI Zine et all « Appropriate Choice of Damping Rate and Frequency Margin for Improvement of the Piezoelectric Sensor Measurement Accuracy » Journal of Advanced Manufacturing Systems, 20 (3), PP: 537-548.
- [51] GHEMARI Zine et all « Improvement of the Vibratory Analysis by Enhancement of Accelerometer Characteristics » Sensor Letters 18 (1), 39-42.
- [52] GHEMARI Zine et all « Enhancement of the vibratory analysis technique by the accelerometer characteristics evolution » The 7th International Conference on Control Engineering & Information Technology, October 2019, Maroc.
- [53] GHEMARI Zine et all « The accelerometer characteristics improvement » The 7th International Conference on Control Engineering & Information Technology, October 2019, Maroc.
- [54] GHEMARI Zine et all Enhancement of capacitive accelerometer operation by parameters improvement, International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields, Vol.32, No.3, 2019.
- [55] GHEMARI Zine et all « Improvement of the vibratory diagnostic method by evolution of the piezoelectric sensor performances » International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, Vol.20, No.8, PP: 1361-136.

Annexe

Tableau du test KOLMOGOROV SMIRNOV

N	α						
	0.001	0.01	0.02	0.05	0.1	0.15	0.2
1	0.99950	0.99500	0.99000	0.97500	0.95000	0.92500	0.90000
2	0.97764	0.92930	0.90000	0.84189	0.77639	0.72614	0.68377
3	0.92063	0.82900	0.78456	0.70760	0.63604	0.59582	0.56481
4	0.85046	0.73421	0.68887	0.62394	0.56522	0.52476	0.49265
5	0.78137	0.66855	0.62718	0.56327	0.50945	0.47439	0.44697
6	0.72479	0.61660	0.57741	0.51926	0.46799	0.43526	0.41035
7	0.67930	0.57580	0.53844	0.48343	0.43607	0.40497	0.38145
8	0.64098	0.54180	0.50654	0.45427	0.40962	0.38062	0.35828
9	0.60846	0.51330	0.47960	0.43001	0.38746	0.36006	0.33907
10	0.58042	0.48895	0.45662	0.40925	0.36866	0.34250	0.32257
11	0.55588	0.46770	0.43670	0.39122	0.35242	0.32734	0.30826
12	0.53422	0.44905	0.41918	0.37543	0.33815	0.31408	0.29573
13	0.51490	0.43246	0.40362	0.36143	0.32548	0.30233	0.28466
14	0.49753	0.41760	0.38970	0.34890	0.31417	0.29181	0.27477
15	0.48182	0.40420	0.37713	0.33760	0.30397	0.28233	0.26585
16	0.46750	0.39200	0.36571	0.32733	0.29471	0.27372	0.25774
17	0.45440	0.38085	0.35528	0.31796	0.28627	0.26587	0.25035
18	0.44234	0.37063	0.34569	0.30936	0.27851	0.25867	0.24356
19	0.43119	0.36116	0.33685	0.30142	0.27135	0.25202	0.23731
20	0.42085	0.35240	0.32866	0.29407	0.26473	0.24587	0.23152
25	0.37843	0.31656	0.30349	0.26404	0.23767	0.22074	0.20786
30	0.34672	0.28988	0.27704	0.24170	0.21756	0.20207	0.19029
35	0.32187	0.26898	0.25649	0.22424	0.20184	0.18748	0.17655
40	0.30169	0.25188	0.23993	0.21017	0.18939	0.17610	0.16601
45	0.28482	0.23780	0.22621	0.19842	0.17881	0.16626	0.15673
50	0.27051	0.22585	0.21460	0.18845	0.16982	0.15790	0.14886
N > 50	$\frac{1.94947}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.62762}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.51743}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.35810}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.22385}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.13795}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.07275}{\sqrt{N}}$

Résumé

La maintenance industrielle est devenue un élément indispensable pour toutes les industries car elle assure le bon fonctionnement du matériel et le service continu des équipements à travers ces politiques et ces stratégies. L'évaluation et l'optimisation des paramètres de la sûreté de fonctionnement d'une chaîne de production sont un processus continu. Il est essentiel de maintenir une surveillance constante et d'apporter des ajustements au fur et à mesure pour garantir des performances optimales. Dans notre travail, nous allons évaluer les paramètres de la sûreté de fonctionnement d'une chaîne de production de la société AGRODIV M'SILA puis essayer d'optimiser ces paramètres à travers la suggestion des solutions efficace concernant les éléments les plus défectueux.

Mots clés : Maintenance, Sûreté de fonctionnement, Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité, Sécurité.

ملخص

أصبحت الصيانة الصناعية عنصراً لا غنى عنه لدى جميع المصانع لأنها تضمن الأداء السليم للمعدات والخدمات المستمرة للتجهيزات من خلال سياساتها وإستراتيجياتها. تقييم وتحسين معايير السلامة التشغيلية لخط الإنتاج هو عبارة عن عملية مستمرة. يعد الحفاظ على المراقبة المستمرة وإجراء التعديلات أثناء اللزوم أمراً ضرورياً لضمان الأداء الأمثل. في عملنا هذا، سنقوم بتقييم معايير السلامة التشغيلية لخط إنتاج لشركة AGRODIV M'SILA ثم نحاول تحسين هذه المعايير من خلال اقتراح حلول فعالة فيما يتعلق بالعناصر الأكثر عطبا.

كلمات مفتاحية : صيانة، سلامة تشغيلية، موثوقية، قابلية الصيانة، توفر، سلامة.

Abstract

Industrial maintenance has become an indispensable element for all industries as it ensures the proper functioning of the equipment and the continuous service of the equipment through these policies and strategies. Assessing and optimizing the dependability parameters of a production line is an ongoing process. Maintaining constant monitoring and making adjustments as you go is essential to ensure optimal performance. In our work, we will evaluate the parameters of the operational safety of a production line of the company AGRODIV M'SILA then try to optimize these parameters through the suggestion of effective solutions concerning the most faulty elements.

Key words : Maintenance, Operational safety, Reliability, Maintainability, Availablity, Security.