People's Democratic Republic of Algeria

Ministry of Higher Education and Scientific Research

Mohamed Boudiaf University of M'sila

Faculty of Technology

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي

جامعة المسيلة

كلية التكنولوجيا

جامعة محمد بوضياف - المسيلة
Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Département de Génie Electrique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

MASTER

En Génie Electrique

Option : Maintenance Industrielle

Présenté par :

Tlili Mohamed Seifeddine

Badji Youcef

Thème

Optimisation de la sureté de fonctionnement d'un équipement industriel par la proposition d'une politique de maintenance efficace

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Qualité
Mabrak Samir	Président
Ghemari Ezzine	Encadreur
Cherif Bilal Djamal Eddine	Examinateur
Defdaf Mabrouk	Co-Encadreur

Année Universitaire : 2023 / 2024

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère. A l'homme, mon précieux offre du dieu, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect ; mon cher père

A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit Non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse: Mon adorable mère A mes chères sœurs

A Mon adorable frère qui savent toujours comment procurer la joie et le bonheur pour toute la famille.

A mes grands-mères, mes oncles et mes tantes. Que Dieu leur donne une longue et joyeuse vie. A tous les cousins, les voisins et les amies que j'ai connu jusqu'à maintenant.

Merci pour leurs amours et leurs encouragements.

Sans oublier mes chère collègues pour leur soutien moral, leur patience.et leur compréhension tout au long de ce projet.

Tlili Mohamed Seifeddine

Quoi de plus que de pouvoir partager les meilleurs moments de sa vie avec les êtres que l'on aime. Arrivé à terme de mes études, j'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail à :

- Mes chers parents.
- Mon cher frère.
- Mes chers collègues.
- Toute ma grande famille.
- Tous mes amis chacun à son nom se reconnaîtront

, Ceux qui ne se reconnaîtront pas … merci quand même.

Badji Youcef

Tout d'abord, je tiens à remercier au Bon Dieu de m'avoir donnée la volonté, le courage et la force pour terminer mon travail et pour sa bienveillance jusqu'au bout du parcours de mes études.

A travers ce modeste travail, mes remerciements les plus vifs s'adressent surtout à mon encadrant Dr Ghemari Zine . , pour sa disponibilité, générosité, conseils précieux et pour toutes les orientations qu'elle m'a apporté durant mes études et la réalisation de ce projet.

Mes remerciements les plus vifs d'adressent aussi au président du jury et les membres examinateurs d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer notre modeste travail

Sommaire

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Résumé

Abstract

ملخص

Introduction générale ……...…….…...…...01

Chapitre I :généralité sur la maintenance

I.1Introduction ……...02

I.2La définition de la maintenance ……02

I.3Les différents stratégies (types) de maintenance:…….....03

I.4Les objectifs de la maintenance……..04

I.4.1 Assurer la production prévue ……04

I.4.2. Améliorer la qualité du produit :……....04

I.4.3. Contribuer au respect des délais ……...04

I.4.4. Rechercher des coûts optimaux ……...…….04

I.4.5. Garantir la sécurité des travailleurs et la qualité du milieu de travail …….....…….....04

I.4.6. Respecter l'environnement ……...……...…….04

I.5.1 La fonction maintenance ……...……...……..05

I.5.2. Mise en œuvre d'une politique de maintenance……...……...……....05

I.6.Les différentes types de la maintenance ……...……...……..06

I.6.1. Maintenance corrective ou réactive ……....….06

I.6.2. Maintenance préventive :……...…….07

I.6.2.a. Maintenance préventive systématique :……...……07

I. 6.2.b. Maintenance préventive prévisionnelle :……...…….07

I.6.2.c. Maintenance préventive conditionnelle ……..……....08

I.7. Classification des tâches de maintenance……....……09

I.8. Choix des outils de surveillance :……...……....10

I.9.Les opérations de la maintenance :……..…….....…12

I.10Conclusion ……...……....13

Chapitre. 2 Les paramètres de la sûreté de fonctionnement

II.1.introduction…….....14

II.2.Historique……...……...15

II 3.Définition……...16

II 4.Objectif……...16

II 5.Fondements de base de la Sûreté de Fonctionnement…….....16

II 5.2La trilogie faute/erreur/défaillance…….....17

II 5.3Les mesures ou les attributs de la SdF…….....17

II 5.4Les attribus de la SDF…….....18

II 5.5les moyens de la SdF…….....18

II 6.Les attributs de la Sûreté de Fonctionnement……....19

II 6.1.La fiablité …….....20

II 7.Les lois principaux…….....20

- **Lois discrètes**
- **Loi uniforme :**
- **Loi binomiale :**
- **Loi binomiale négative**
- **Loi de Bernoulli**
- **Loi géométrique :**
- **Loi hypergéométrique**
- **La relation de Poisson**
- **Loi con**

- **La loi Gamma**
- **Loi inverse gamma**
- **La loi normale**

- **La loi Log-normale**
- **La loi de Wei bull**
- **La loi exponentielle**
- **La loi logistique**
- **La loi log-logistique**

II.7.Disponibilité……29

II.8.Différents nivaux de la disponibilité……29

II.9.La maintenabilité…….30

II.10.La sécurité……..31
II *.11.Enjeu de la sureté de fonctionnement…….....…..…..32*
II. 12.Conclusion…….....33
chapitre. III Présentation de l'entreprise
III.1 Introduction 34
III.2. La Direction Centrale du Matériels M'sila 36
III.2.1. Description des structures des services.....36
III.2.2. Les Départements et leur service et personnel 36
III.2.2.1. Département administration et personnel 36
III.2.2.2. Service comptabilité et finance 37
III.2.2.3. Département de la gestion 37
III.2.2.4. Département Approvisionnement 38
III.2.2.5. Le Département de la maintenance 39
III.3. Généralité sur le groupe électrogène.....40
III.3.1. Introduction 40
III.3.2.Les composants Principaux 40

chapitre IV. Analyse statistique du groupe électrogène

IV.1. Introduction 44
IV.2. Choix du système.....44
IV.3. Historique des pannes du groupe électrogène choisi 44
IV.4. Vérification de la loi de calcul de la fiabilité.....45
IV.4.1. Calcul des paramètres de la loi de Weibull.....45
IV.4.2. Test de Kolmogorov-Smirnov (KS)…….…..… 47
IV.5. Calcul des différentes fonctions par la loi de Wiebull 48
IV.6. Analyse détaillée de la période de vieillissement.....52
IV.6.1. La fiabilité du groupe électrogène.....52
IV.6.2. La densité de probabilité.....52
IV.6.3. Le taux de défaillance.....52
IV.6.3.1. Observation de l'augmentation du taux de défaillance.....52
IV.6.3.2. Implications pour la Maintenance.....53

IV.6.3.3. Optimisation de la fiabilité et de la disponibilité.....53
IV.7. Calcul de la fiabilité pour la moyenne des temps de bon fonctionnement (MTBF) 54
IV.8 La maintenabilité.....56
IV.9 La disponibilité.....58
IV.9.1. La disponibilité intrinsèque théorique.....58
IV.9.2. La disponibilité instantanée 59
IV.10. Optimisation de la sûreté de fonctionnement du groupe électrogène.....60
IV.10.2. Amélioration de la Maintenabilité.....61
IV.10.3. Augmentation de la disponibilité.....61
IV.10.4. Amélioration de la Sécurité.....62
IV.10.5. Surveillance et Diagnostic.....62
IV.10.6. Gestion de la Maintenance.....62
IV.11. Conclusion.....62
Conclusion et perspectives
Références bibliographiques

Liste des tableaux

I.1 Comparaisons entre les différentes méthodes de maintenance préventive 10
I.2 Types des maintenances 12
II.1 Historique de la sureté de fonctionnement 15
IV.1 Historique de panne du groupe électrogène choisi 45
IV.2 Calcul fonction de répartition théorique 46
IV.3 Les paramètres de la loi de Wiebull 46
IV.4 Test de Kolmogorov-Smirnov (KS) ……48
IV.5 Calcul de la fiabilité, du taux de défaillance et de la densité de probabilité. 48
IV.6 Calcul de La maintenabilité 56
IV.7 Calcul de la disponibilité instantanée 59

Liste des Figures

I.1 La fonction maintenance 02
I.2 Les différentes stratégie de la maintenance 03
I.3 LES trois fonctions opérationnelles de la maintenance.....05
I.5 Processus de déroulement d'une maintenance corrective sur un système ou un équipement,.....07
I.6 Structure de la maintenance conditionnelle 08
I.7 Principe de la maintenance conditionnelle,[.....09
II.1 Les mesures de SDF 17
II.2 Les attributs de la SDF 18
II.3 Evolution du taux de défaillance d'un système.....20
II.4 Le niveau de risque est fonction du couple : gravité, probabilité d'occurrence 31
II.5 Les mesures essentielles de la sûreté de fonctionnement 32
III.1 Les composants principaux de moteur 41
III.2 Alternateur triphasé 41
III.3 Système de carburant 42
III.4 Système de refroidissement 42
III.5 Système de Lubrification 43
III.6 Photos présentative de l'entreprise 43
IV.1 La fonction de répartition F(t) varie en fonction du temps de bon fonctionnement 47
IV.2 La fonction de fiabilité en fonction du temps de bon fonctionnement (TBF) 49
IV.3 La densité de probabilité f(t) en fonction du temps de bon fonctionnement (TBF) 50
IV.4 Taux de défaillance en fonction du temps de bon fonctionnement (TBF). 51
IV.5 Maintenabilité en fonction des temps de réparation (TTR) 57
IV.6 Disponibilité instantanée en fonction des temps de réparation (TTR) 60

Résumé

Cette étude propose une approche innovante pour optimiser la sûreté de fonctionnement des équipements industriels en élaborant une politique de maintenance efficace. En utilisant des méthodes d'analyse statistique et d'optimisation, elle vise à réduire les temps d'arrêt non planifiés, les coûts de maintenance et les risques de défaillance. Les résultats démontrent une amélioration significative de la performance opérationnelle et une prolongation de la durée de vie utile de l'équipement, offrant ainsi des orientations précieuses pour la gestion des actifs industriels.

Mots-clés : Optimisation, Sûreté de fonctionnement, Équipement industriel, Politique de maintenance, Performance opérationnelle

Abstract

This study proposes an innovative approach to optimize the reliability of industrial equipment by developing an efficient maintenance policy. Using statistical analysis and optimization methods, it aims to reduce unplanned downtime, maintenance costs, and failure risks. The results demonstrate a significant improvement in operational performance and an extension of equipment lifespan, providing valuable guidance for industrial asset management.

Keywords: Optimization, Reliability, Industrial equipment, Maintenance policy, Operational performance.

ملخص

تقترح هذه الدراسة نهجاً مبتكراً لتحسين موثوقية المعدات الصناعية من خلال وضع سياسة صيانة فعالة. باستخدام أساليب التحليل الإحصائي والتحسين، تهدف إلى تقليل الوقت الذي لا يُخطَّط له من التوقف، وتكاليف الصيانة، ومخاطر الفشل. تُظهر النتائج تحسيناً كبيراً في الأداء التشغيلي وتمديد عمر الخدمة للمعدات، مما يوفر توجيهات قيمة لإدارة الأصول الصناعية.

الكمات المفتاحية : تحسين، موثوقية، معدات صناعية، سياسة صيانة، أداء تشغيلي.

Liste des abréviations

AdD	*Arbre de Défaillance*
AMDEC	Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et c criticité
APR	Analyse préliminaire des risques
ATS	transfert automatique
BDF	Utilisation de Blocs Diagramme de Fiabilité
CEI	Commission Électrotechnique Internationale
ER	Événement Redouté
fig	figure
FMD	fiabilité, maintenabilité, disponibilité
Norme NF	Norme National Française
MDT	Mean Down Time
MTTF	Mean Time To [first] Failure
MUT	Mean Up Time
PFS	la probabilité de défaillance en mode sécurisé
RDB	Reliability Block Diagrams
SAE	Society of Automotive Engineers
SDF	sureté de la fonctionnement
TBF	Temps de Bonne Fonctionnement
TTR	Time To Repair

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE La notion de maintenance telle que formalisée est relativement récente, émergeant avec l'automatisation croissante des systèmes de production, les impératifs économiques et industriels en expansion, ainsi que les réglementations de plus en plus strictes en matière de protection de l'individu et de l'environnement. Elle dépasse largement la simple activité d'entretien d'un parc de machines, intervenant à toutes les étapes du cycle d'exploitation du système, de la sélection et de la conception du matériel à sa mise en service, en passant par la planification et l'organisation des opérations de maintenance, ainsi que le suivi de l'évolution du système [B H.(2011)], [B L.(2015)]

L'exploitation efficace des équipements d'une entreprise vise à améliorer la qualité et le coût du produit, ainsi qu'à renforcer la production. Une gestion adéquate de la maintenance, prenant en compte les aspects techniques, économiques et financiers des différentes méthodes utilisées, permet d'accroître le rendement économique de ces équipements. La maintenance revêt une importance capitale dans l'industrie, ses avantages et ses intérêts découlant de l'application d'une politique basée sur ses méthodes, se traduisant par une amélioration de la fiabilité, de la disponibilité, de la maintenabilité et de la sécurité (paramètres de la sûreté de fonctionnement) des systèmes électromécaniques. Pour élever le niveau de sûreté de fonctionnement de ces systèmes, il convient d'optimiser au moins l'un de ces paramètres (fiabilité, maintenabilité, disponibilité et sécurité [J Gx]

Dans notre mémoire, on va essayer de minimiser le temps d'arrêt d'un système électromécanique choisi par l'application des différentes méthodes de la maintenance pour améliorer leurs paramètres de la sûreté de fonctionnement.

Pour atteindre cet objectif notre mémoire est structuré comme suit:

Le premier chapitre est consacré à l'étude de la maintenance et à la classification des différents types de maintenance.

Le deuxième chapitre explore les paramètres de sûreté de fonctionnement et leurs méthodes de calcul.

Le troisième chapitre est une présentation de l'entreprise Cosider TP M'sila où nous avons fait notre stage.

Le quatrième chapitre est la partie spéciale de notre travail où on va choisir notre système au sein d'une entreprise.

Ensuite on va extraire son historique de panne pour évaluer leurs paramètres de la sûreté de fonctionnement.

Et la fin de ce chapitre nous proposerons des solutions concernant les éléments les plus défaillants pour réduire le temps de panne et optimiser les paramètres de SDF de ce système

Généralité sur la maintenance

I.1 : Introduction :

Dans les secteurs industriels et des transports, les machines et les installations deviennent de plus en plus performantes et complexes. Les exigences en matière de sécurité élevée, la nécessité de réduire les coûts d'exploitation et de garantir la disponibilité des équipements confèrent à la maintenance des systèmes un rôle crucial. Son objectif est de n'intervenir que lorsque des éléments sont défectueux, de minimiser les temps d'arrêt pour les réparations et de fournir un diagnostic fiable et facilement compréhensible, malgré la complexité croissante des équipements.

I.2. La définition de la maintenance

Selon la norme **NF EN 13306** La maintenance englobe toutes les actions techniques, administratives et de gestion menées tout au long du cycle de vie d'un bien, dans le but de le maintenir en état de fonctionnement optimal ou de le restaurer à un niveau où il peut remplir sa fonction requise. La maintenance actuelle s'inscrit dans un contexte où elle contribue activement à la réalisation des objectifs de productivité, de rentabilité et de croissance de l'entreprise. Selon [**R.S]** et **[A.H]** , la fonction maintenance peut être considérée comme un ensemble d'activités divisées en deux sous-catégories principales : les activités à caractère technique et les activités axées sur la gestion (voir figure I.1).

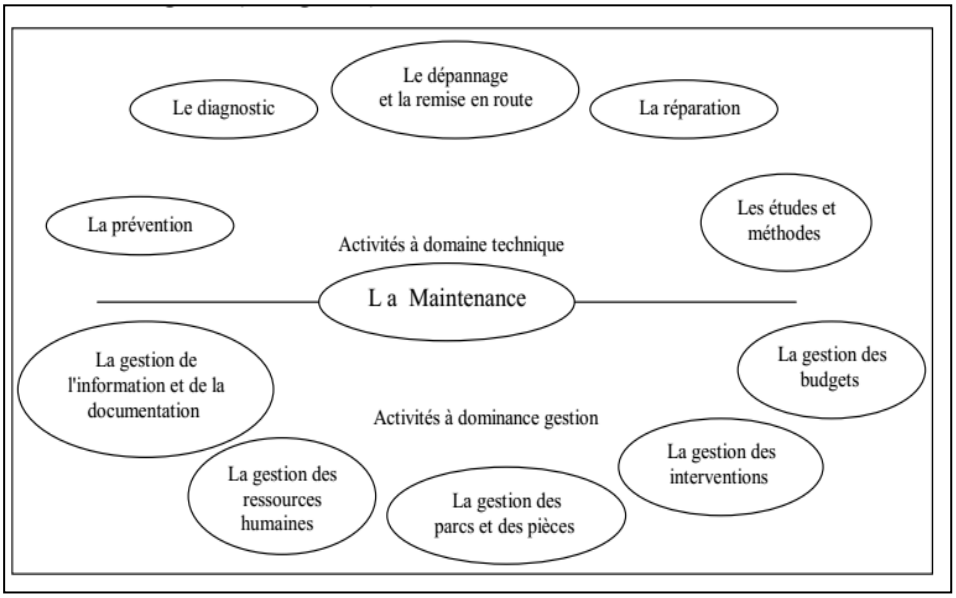

Figure I.1. La fonction maintenance [Bouche, & Plauchu, 1990]

I.3. Les différentes stratégies (types) de maintenance:

La norme NF-X 60 000 distingue deux principales catégories : la maintenance corrective et la maintenance préventive (Figure I-2)

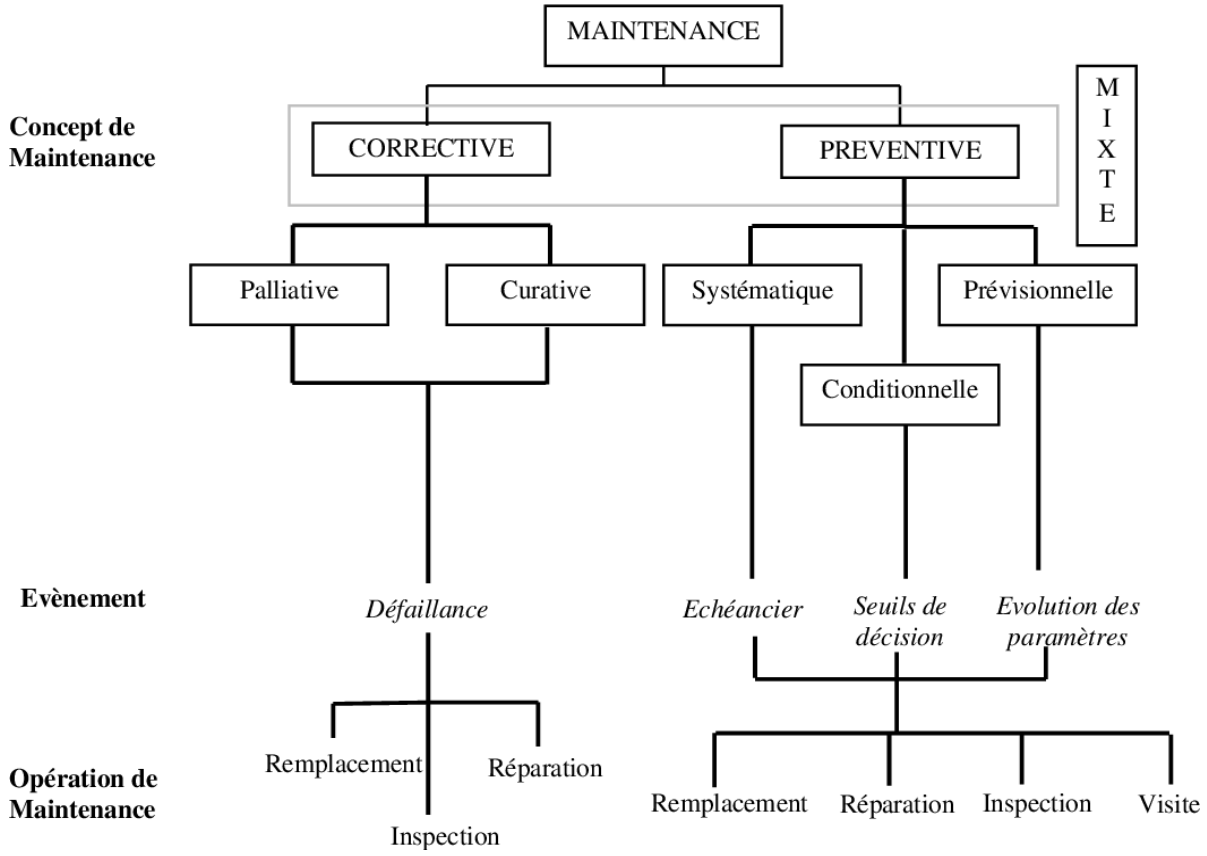

Figure. I-2 Les différentes stratégies (types) de maintenance

I.4 . Les objectifs de la maintenance

I.4.1. Assurer la production prévue :

La coordination entre la maintenance et la production est essentielle pour planifier les arrêts nécessaires à l'entretien préventif, en tenant compte des recommandations du fabricant et des exigences des programmes de fabrication.

I.4.2 .Améliorer la qualité du produit :

La qualité dépend à la fois de la production et de la maintenance. En cas de baisse de productivité, des erreurs de fonctionnement ou des pannes de machines, des matières

premières défectueuses ou des réglages incorrects peuvent être en cause, ce qui nécessite une responsabilité partagée entre ces deux fonctions.

I.4.3 . Contribuer au respect des délais :

La maintenance doit avoir une connaissance précise de l'état des équipements, des stocks de pièces de rechange disponibles, de l'historique des pannes, des caractéristiques techniques, etc., pour assurer la continuité des opérations dans les délais impartis.

I.4.4. Rechercher des coûts optimaux :

Outre les compétences techniques, le service de maintenance doit être en mesure d'établir des devis précis et des estimations des coûts liés aux travaux de maintenance, contribuant ainsi à une gestion efficace des dépenses.

I.4.5. Garantir la sécurité des travailleurs et la qualité du milieu de travail :

La maintenance doit prendre en compte les risques d'accidents liés à ses interventions en mettant en place des méthodes de travail sûres, des consignes de sécurité et des procédures telles que le cadenassage.

I.4.6. Respecter l'environnement :

La maintenance est souvent chargée du contrôle des polluants et de la réduction des contaminants rejetés dans l'environnement. Les équipements non productifs mais nécessaires, tels que les systèmes de recyclage, les dépoussiéreurs, les filtres, etc., ne doivent pas être négligés.

I.5. La fonction maintenance :

La fonction principale de la maintenance est de garantir, par des actions préventives et correctives, la disponibilité des équipements de production pour accomplir leurs fonctions requises dans les conditions définies par les normes AFNOR. En d'autres termes, la maintenance vise à gérer de manière optimale les équipements de production en fonction des objectifs spécifiques de l'entreprise.

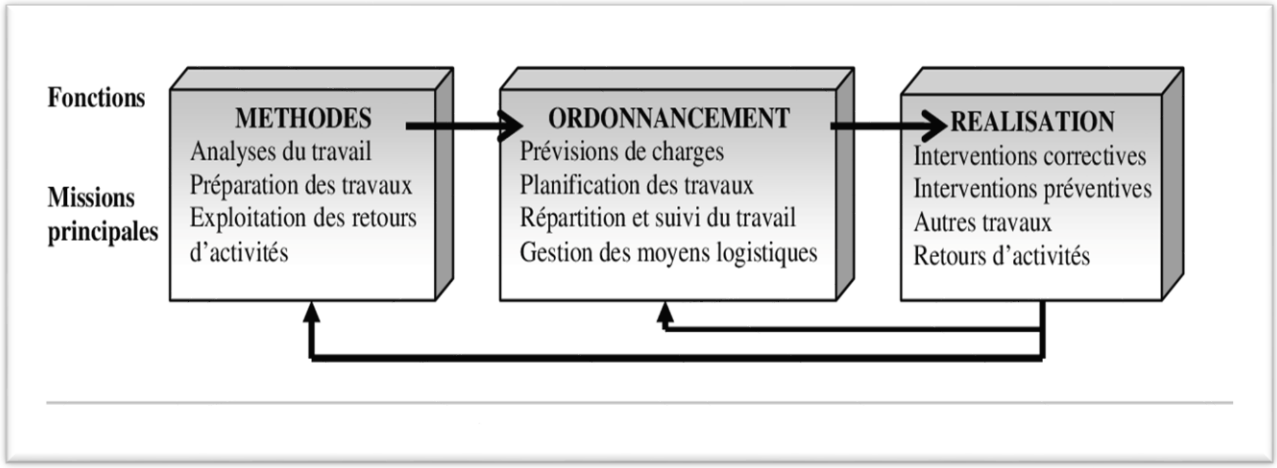

Figure I.3. Les trois fonctions opérationnelles de la maintenance**.(François & jean pierre V 2003)**

I.5.1. Mise en œuvre d'une politique de maintenance :

Dans la conceptualisation de la maintenance, deux concepts-clés émergent : le maintien et la restauration La norme européenne EN 13306, "Terminologie de la maintenance", catégorise les différentes approches de maintenance. La première est axée sur la prévention, tandis que la seconde se concentre sur la correction. Les diverses stratégies de maintenance peuvent être synthétisées0 comme illustré dans la Figure (I-2) au dessus

I.6. Les différentes types de la maintenance :

I.6.1. Maintenance corrective ou réactive :

La maintenance corrective, souvent assimilée à la maintenance réactive, est déclenchée suite à la détection d'une panne ou d'une défaillance (voir Figure). Son objectif est de remettre un équipement en état de fonctionnement optimal. Généralement, cette forme de maintenance est réactive et survient en réponse à une panne inopinée.

Elle comprend deux types d'intervention :

- les mesures temporaires pour rétablir le fonctionnement
- et les réparations définitives. Bien que nécessaire, cette stratégie de maintenance est coûteuse et dépendante des événements imprévus.

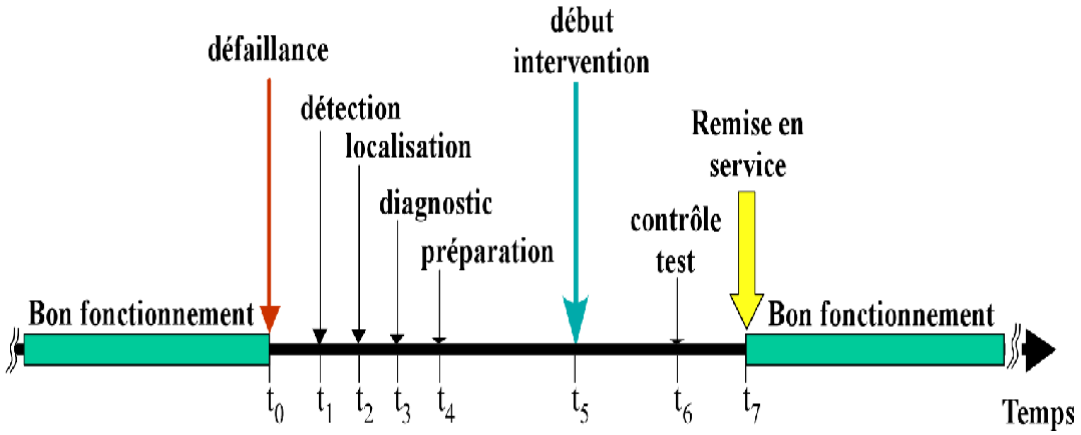

Figure I.5. Processus de déroulement d'une maintenance corrective sur un système ou un équipement [pascal, 2010]

I.6.2. Maintenance préventive :

Dans une stratégie de maintenance globale, l'accent est mis sur la réduction des interventions de dépannage et de réparation, privilégiant les activités préventives et d'amélioration. La maintenance préventive se décline en plusieurs formes, notamment :

- Maintenance préventive systématique,
- Maintenance préventive conditionnelle,
- Maintenance préventive prévisionnelle.

I.6.2.a. Maintenance préventive systématique :

Lorsque la maintenance préventive est réalisée à des intervalles prédéterminés, on parle de

maintenance systématique, l'opération de maintenance est effectuée conformément à un échéancier, un calendrier déterminé a priori. Aucune intervention ne peut avoir lieu avant l'échéance prédéterminée.

L'optimisation d'une maintenance préventive systématique consiste à déterminer au mieux la périodicité des opérations de maintenance sur la base du temps, du nombre de cycles de fonctionnement, du nombre de pièces produites… etc

I.6.2.b. Maintenance préventive prévisionnelle :

La maintenance préventive prévisionnelle repose sur l'estimation du temps de fonctionnement restant avant l'apparition d'une défaillance. Les interventions sont basées sur des estimations

plutôt que sur des échéances fixes, ce qui nécessite une analyse attentive des données opérationnelles pour anticiper les besoins de maintenance.

I.6.3.c. Maintenance préventive conditionnelle :

La norme AFNOR X 60-010 donne une définition de la maintenance conditionnelle qui stipule que les interventions sont déclenchées en fonction de critères prédéterminés représentatifs de l'état de dégradation de l'équipement ou du service. Ainsi, au lieu de se baser sur un calendrier fixe, cette approche réagit à des événements ou des conditions spécifiques qui dépassent certains seuils prédéfinis. Ces seuils peuvent être détectés par des capteurs surveillant divers paramètres tels que la température, les vibrations, les fuites ou l'usure, comme illustré dans la Figure I.5. Cette méthode s'applique à tout type de système équipé de capteurs permettant de détecter les anomalies. Les progrès récents dans la technologie des capteurs ont grandement contribué à l'amélioration de cette forme de maintenance au cours des dernières décennies. La maintenance conditionnelle peut être déclenchée à la suite d'une inspection ou d'un contrôle régulier. Ainsi, le système n'est arrêté que lorsque les indicateurs mesurés dépassent certains seuils, déterminés par une analyse continue des données opérationnelles. Cette approche permet de prévenir les défaillances inattendues en anticipant les problèmes potentiels..

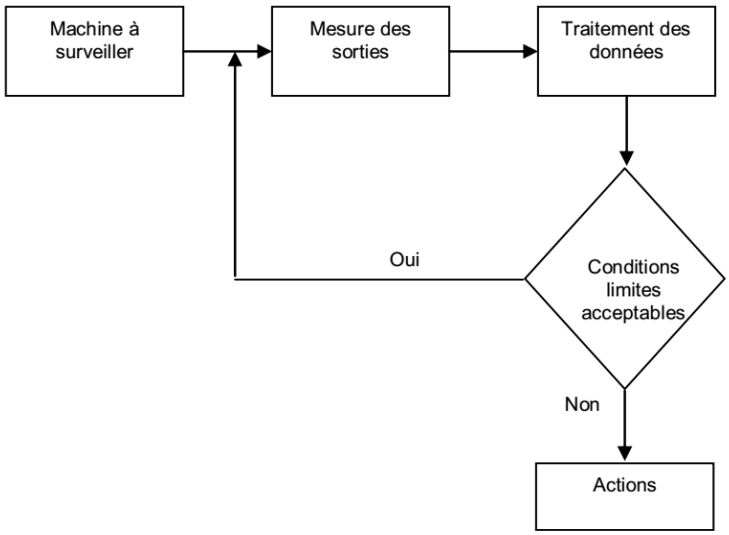

Figure I.6. Structure de la maintenance conditionnelle

La maintenance préventive conditionnelle se caractérise par son exécution uniquement lorsque l'état du bien le justifie, Cela implique la mise en place de techniques de surveillance pour évaluer de manière précise et économique l'état du bien. Avant de procéder, il est essentiel de sélectionner un ensemble d'indicateurs de surveillance, basés sur divers paramètres, qui peuvent être facilement mesurés pendant le fonctionnement. La Figure 07 illustre le principe de cette approche de maintenance conditionnelle..

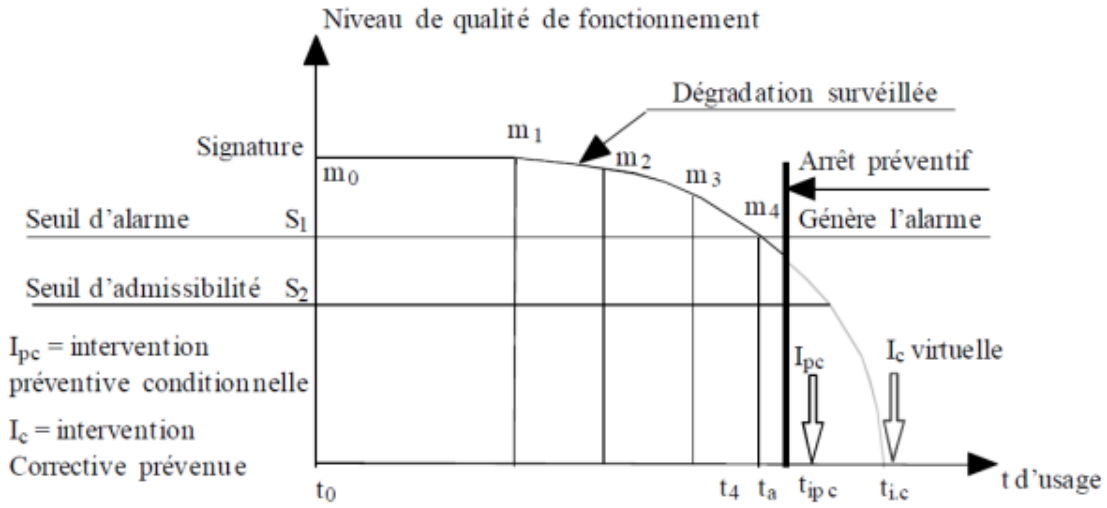

Figure I.7. Principe de la maintenance conditionnelle [http://elearning.univ-biskra.dz]

I.7 : Classification des tâches de maintenance :

Selon l'Afnor Les tâches de maintenance se divise en cinq niveaux, caractérisés par la complexité des opérations et les ressources matérielles requises pour leur exécution, selon

- **Tâches de maintenance du premier niveau** : Elles comprennent des réglages simples prévus par le fabricant à l'aide d'organes facilement accessibles sans démontage, ou des remplacements d'éléments sans nécessité d'outils spécifiques.
- **Tâches de maintenance du deuxième niveau** : Elles impliquent des opérations de dépannage par échange standard d'éléments définis à cet effet, ou des activités mineures de maintenance préventive pouvant nécessiter un outillage standard.
- **Tâches de maintenance du troisième niveau :** Elles exigent l'identification et le diagnostic des pannes. Les réparations impliquent généralement l'échange de composants fonctionnels, avec des interventions mécaniques mineures. Les outils nécessaires sont courants et prévus pour ce type d'intervention, avec l'utilisation possible d'appareils de mesure pour la remise en route correcte de l'équipement ayant fait l'objet de l'intervention.

- **Tâches de maintenance du quatrième niveau** : Elles englobent des travaux importants de maintenance corrective ou préventive, nécessitant généralement un outillage spécialisé tel que du matériel d'essai ou de test, un banc de contrôle, etc.
- **Tâches de maintenance du cinquième niveau :** Elles concernent les travaux de rénovation, de reconstruction ou de réparations majeures, souvent confiés à un atelier central. Les moyens nécessaires pour ces interventions sont similaires à ceux utilisés lors de la fabrication de l'équipement par le constructeur.

En somme, la fonction de maintenance industrielle, chargée d'assurer le bon fonctionnement des outils de production, s'avère être une composante stratégique essentielle au sein des entreprises

I.8. Choix des outils de surveillance :

Le choix des outils de surveillance est crucial pour assurer une maintenance efficace. Chaque méthode présentée dans les paragraphes précédents cible des types de défauts spécifiques et permet d'établir un diagnostic adapté à la situation.

Chaque méthode a son domaine d'application privilégié, en fonction de la nature des équipements et des objectifs de maintenance. Le tableau I.1 fournit des comparaisons détaillées entre les différentes méthodes de maintenance préventive, mettant en évidence leurs avantages et leurs limitations respectives

Tableau I.1.Comparaisons entre les différentes méthodes de maintenance préventive conditionnelle

Méthode de maintenance préventive	Principaux avantages	Champs d'applications Privilégiée	Principales limitations
Analyse vibratoire	Identification précoce des anomalies, capacité à effectuer une analyse détaillée, surveillance ininterrompue, possibilité de surveillance à distance	Identification des imperfections présentes dans tous les organes mobiles de la machine (telles que le déséquilibre, les jeux, les problèmes d'alignement, etc.) ainsi que dans sa structure	Parfois, l'interprétation des spectres peut être complexe lorsqu'il s'agit d'une surveillance continue, et les installations nécessaires peuvent être relativement coûteuses.
Analyse d'huiles	Détection d'une pollution anormale du lubrifiant, avant que celle-ci n'entraîne une usure ou un échauffement, Possibilité de connaître l'origine de l'anomalie par analyse des particules	Contrôle des propriétés physico-chimiques du lubrifiant, détection d'un manque de lubrification, analyse des éléments d'usure, analyse de contamination par le processus (étanchéité) ... etc.	Ne permet pas de localiser précisément le défaut, Nécessite de prendre de nombreuses précautions dans le prélèvement de l'échantillon.
Thermographie IR	Permet de réaliser un contrôle rapide de l'installation, Interprétation souvent immédiate des résultats.	Détection de tous les défauts engendrant un échauffement (manque de lubrification en particulier).	Détection de défauts à un stade moins précoce que l'analyse vibratoire; Contrôle limité à ce que 'voit' la caméra (échauffement de surface); Ne permet pas de réaliser un diagnostic approfondi

Analyse acoustique	Permet de détecter l'apparition de défauts audibles, Autorise une surveillance continues	Détection d'un bruit inhabituel pouvant ensuite être analysé par analyse vibratoire	Sensibilité au bruit ambiant, Diagnostic souvent difficile à réaliser, Problèmes de répétitivité des mesures

Tableau I.2. Types des maintenances

Type d'intervention	**Corrective**	**Préventive**	**Conditionnelle**
Conditions d'action	Réagit après la panne	Basée sur l'estimation de la durée de vie moyen du composant	Déclenchée par des signes précurseurs spécifiques
Diagnostic	Se concentre sur la cause de la panne	-	Analyse de l'évolution des paramètres et identification de l'origine du défaut
Domaine d'application	Utilisé pour des équipements en double, pannes imprévisibles acceptables	Utilisé pour des opérations de graissage, de petites pièces et lorsque les mesures sont difficiles à obtenir	Employé sur des équipements stratégiques à risque de panne dangereuse
Durée de vie	Jusqu'à la rupture	Remplacement programmé	Détection précoce des défauts, analyse des tendances et maintenance planifiée
Coûts	Impact important sur la production et la sécurité	Impact important sur les matériaux	Optimisation des coûts matériels proche de la rupture, augmentation de la productivité par une planification des arrêts efficace

I.9. Les opérations de la maintenance :

Les activités de maintenance comprennent plusieurs types d'interventions :

I.9.1. Le dépannage :

C'est une action immédiate effectuée sur un équipement en panne afin de le remettre en état de fonctionnement. Parfois, des solutions temporaires (maintenance palliative) peuvent être adoptées pour répondre rapidement à l'incident. Le dépannage ne suit pas nécessairement les procédures standards en matière de coûts et de qualité, mais il est souvent suivi d'une réparation. Il peut être réalisé sur des équipements nécessitant un fonctionnement continu, où toute interruption pourrait compromettre la production.

I.9.2. La réparation:

Il s'agit d'une intervention corrective définitive réalisée après une panne ou une défaillance. La décision de réparer peut être prise immédiatement après l'incident, après un dépannage, ou suite à une visite de maintenance préventive conditionnelle ou systématique. La réparation vise à restaurer les performances initiales de l'équipement.

I.9.3. La surveillance :

Cette activité, qui fait partie de la maintenance préventive, consiste à contrôler régulièrement l'état réel de l'équipement. Elle peut être effectuée de manière continue ou à des intervalles déterminés, basés sur le temps ou l'utilisation de l'équipement. La surveillance comprend les inspections périodiques, les visites planifiées et les contrôles de conformité.

- Les inspections consistent à relever périodiquement des anomalies et à effectuer des ajustements simples.
- Les visites sont des interventions planifiées selon une périodicité déterminée, pouvant nécessiter des démontages et pouvant entraîner des actions de maintenance corrective.
- Les contrôles vérifient la conformité par rapport à des critères prédéfinis et peuvent conduire à des actions de maintenance corrective.

I.9.4. Les révisions : Elles regroupent un ensemble d'examens, de contrôles et d'interventions visant à prévenir les défaillances majeures ou critiques de l'équipement pendant une période donnée ou un nombre d'utilisations défini. Les révisions peuvent être partielles ou générales en fonction de l'étendue des opérations requises, et elles impliquent souvent le démontage de sous-ensembles de l'équipement. Il est important de ne pas confondre les révisions avec les visites, les contrôles ou les inspections, qui sont des activités de surveillance distinctes.

I.10 Conclusion

La maintenance joue un rôle essentiel dans les secteurs industriels et des transports, assurant la performance et la complexité croissante des machines et installations. En intégrant des actions techniques, administratives et de gestion tout au long du cycle de vie des équipements, la maintenance vise à garantir leur fonctionnement optimal et à restaurer leurs capacités en cas de défaillance. Les stratégies de maintenance, divisées en corrective et préventive, permettent de minimiser les temps d'arrêt, d'améliorer la qualité des produits, de respecter les délais, de rechercher des coûts optimaux, de garantir la sécurité des travailleurs et de respecter l'environnement. La mise en œuvre de politiques de maintenance et le choix des outils de surveillance sont cruciaux pour une gestion efficace. En somme, la maintenance industrielle est une composante stratégique indispensable pour la continuité et la rentabilité des opérations dans une entreprise.

Les paramètres de la sûreté de fonctionnement

II.1. Introduction

Depuis une cinquantaine d'années, on peut constater l'extraordinaire évolution des performances des nombreux systèmes qui nous entourent, tels que :

- o les systèmes de production automatisés,
- o les systèmes de transport (avions, trains rapides, automobiles),
- o les systèmes de télécommunication (téléphonie, internet)...

Le haut niveau de performances exigé imposerait un fonctionnement sans défaillance. Mais, parallèlement à l'évolution de leurs performances, la complexité de ces systèmes s'est également considérablement accrue , la multiplication des sources de défaillances potentielles .

En outre, les impératifs économiques actuels imposent des délais de plus en plus courts de mise sur le marché ou de passage au stade opérationnel, sans que l'on puisse disposer de retours d'expérience significatifs en ce qui concerne les défaillances, surtout lorsqu'il s'agit de dispositifs entièrement nouveaux.

Ces défaillances ou dysfonctionnements peuvent avoir des conséquences graves :

- atteintes à la santé des personnes ou à l'environnement,
- pertes de vies humaines,
- non conformité des produits,
- arrêt de production, pertes financières...

On remarquera par ailleurs que le fonctionnement de notre société est devenu extrêmement dépendant de ces systèmes qui nous entourent.

A titre d'exemple, une seule tempête:

- plus d'électricité,
- plus de télécommunications,
- plus de circulation sur les routes coupées,
- plus d'approvisionnement et d'activité des entreprises manufacturières

En caricaturant quelque peu, nous pouvons dire que nous nous trouvons face à :

- **systèmes très performants** : quand tout fonctionne correctement.
- **systèmes très complexes :** donc avec des sources de défaillances multiples.

Le monde politique éprouve de réelles difficultés à interpréter et utiliser les études techniques réalisées.

- La complexité croissante des systèmes industriels
- leur implication grandissante dans la vie économique et sociale,
- la nécessaire minimisation de leur coût,
- la conception et l'exploitation dans un monde très concurrentiel

II.2 : Historique

L'importance de la sûreté de fonctionnement (SDF) s'est manifestée comme une exigence essentielle durant le XXe siècle, en parallèle avec l'avènement de la révolution industrielle. Le tableau 1 offre un aperçu de son évolution au fil du temps**. [https://www.onera.fr]**

Tableau II.1 : Historique de la sureté de fonctionnement

Epoque	**Notion**	**faits**
1959	Méthode statistique pour évaluer les occurrences de pannes. Théorie de la fiabilité dans le domaine de l'électronique, développée aux États-Unis.	Déflagration de la poudrière (1794) Déraillement ferroviaire (1842) Naufrage du Titanic (1912)
1960	Évaluation de la disponibilité Diagramme des causes (NASA) Analyse des défaillances et de leurs conséquences dans le domaine aérospatial	
1970	Évaluation des dangers (Nucléaire) Rassemblage de données	
1980	Formalisation et extension de la sûreté de fonctionnement (pour la conception de systèmes complexes) Innovations dans les techniques de simulation et de modélisation	Accident de Tchernobyl (1986) Vol d'Ariane V (1996)
2000	Application de la sûreté de fonctionnement dans l'industrie	

II.3 :Définition :

La Sûreté de Fonctionnement (SDF), également connue sous le terme anglais "dependability", est définie par la Commission Électrotechnique Internationale (CEI) comme l'ensemble des caractéristiques décrivant la disponibilité et les facteurs qui la conditionnent, à savoir la fiabilité, la maintenabilité et la logistique de maintenance. Elle représente l'aptitude d'une entité à remplir une ou plusieurs fonctions requises dans des conditions données. Villemeur la définit plus précisément comme la science des défaillances, tandis que dans un sens plus strict, elle correspond à l'aptitude d'une entité à assumer des fonctions requises dans des conditions spécifiques.

Selon la norme CEI 50 191, la sûreté de fonctionnement englobe les concepts de fiabilité, maintenabilité et disponibilité (ou FMD). Son équivalent en anglais est le terme "dependability" (fiabilité, maintenabilité, disponibilité), souvent désigné par l'acronyme RAM.

II.4 :Objectif

L'objectif de la sûreté de fonctionnement est d'atteindre la conception des différents systèmes avec aucun accident, aucune interruption, aucun défaut et aucune maintenance nécessaire. Pour ce faire, il serait nécessaire de tester toutes les utilisations d'un produit sur une longue période. La sûreté de fonctionnement est un domaine d'activité qui offre des moyens d'accroître la fiabilité et la sécurité des systèmes dans des délais et à des coûts raisonnables.

II.5 :Fondements de base de la Sûreté de Fonctionnement

II.5.1 :Les entraves à la SDF

Les obstacles à garantir le bon fonctionnement d'un système se résument aux erreurs, aux fautes et aux défaillances. Une défaillance survient lorsque le système ne parvient pas à remplir correctement sa fonction prévue. Une erreur représente une condition du système qui pourrait entraîner une défaillance, tandis qu'une faute est la cause attribuée ou présumée de cette erreur.

Les fautes et leurs origines sont variées et peuvent être classées selon plusieurs critères : leur origine (physique ou humaine), leur nature (accidentelle ou intentionnelle, avec ou sans intention de causer des dommages), leur stade d'apparition (durant le développement ou en exploitation), leur position par rapport au système (internes ou externes) et leur persistance (temporaires ou permanentes). Combiner ces perspectives permet de comprendre les fautes complexes, comme les fautes combinées qui résultent de multiples facteurs.

Ces distinctions sont utiles pour identifier les approches adaptées à la prévention et à la gestion des fautes. On peut généralement distinguer quatre catégories de méthodes pour assurer le bon fonctionnement d'un système :

- La prévention des fautes : Comment éviter que les fautes ne surviennent ou ne soient introduites.
- La tolérance aux fautes : Comment garantir que le système puisse continuer à fonctionner correctement malgré la présence de fautes.
- L'élimination des fautes : Comment réduire le nombre ou la gravité des fautes.
- La prévision des fautes : Comment estimer la présence, la survenance et les conséquences des fautes. **[K ,1999]**

II.5.2 : La trilogie faute/erreur/défaillance

Une faute résulte souvent d'une erreur humaine lors de la conception du système.

• Une erreur représente un état que le système atteint, non spécifié ou non prévu.

• Une erreur survient en raison d'une ou plusieurs fautes. Une défaillance se produit à cause d'une ou plusieurs erreurs.

• Il existe une relation d'implication potentielle où une faute peut conduire à une erreur, qui à son tour peut entraîner une défaillance :

Faute ⇒ erreur ⇒ défaillance **[https://www.irisa.fr]**

II.5.3 : Les mesures ou les attributs de la SDF

Les mesures ou caractéristiques de la sûreté de fonctionnement traduisent à la fois les qualités anticipées du système de production et leur évaluation réelle.

Figure II.1. : les mesures de SDF **(https://staff.univ-batna2.dz)**

II.5.4 :Les attributs de la SDF

La sûreté de fonctionnement est caractérisée en quatre paramètres montrés par la figure suivante :

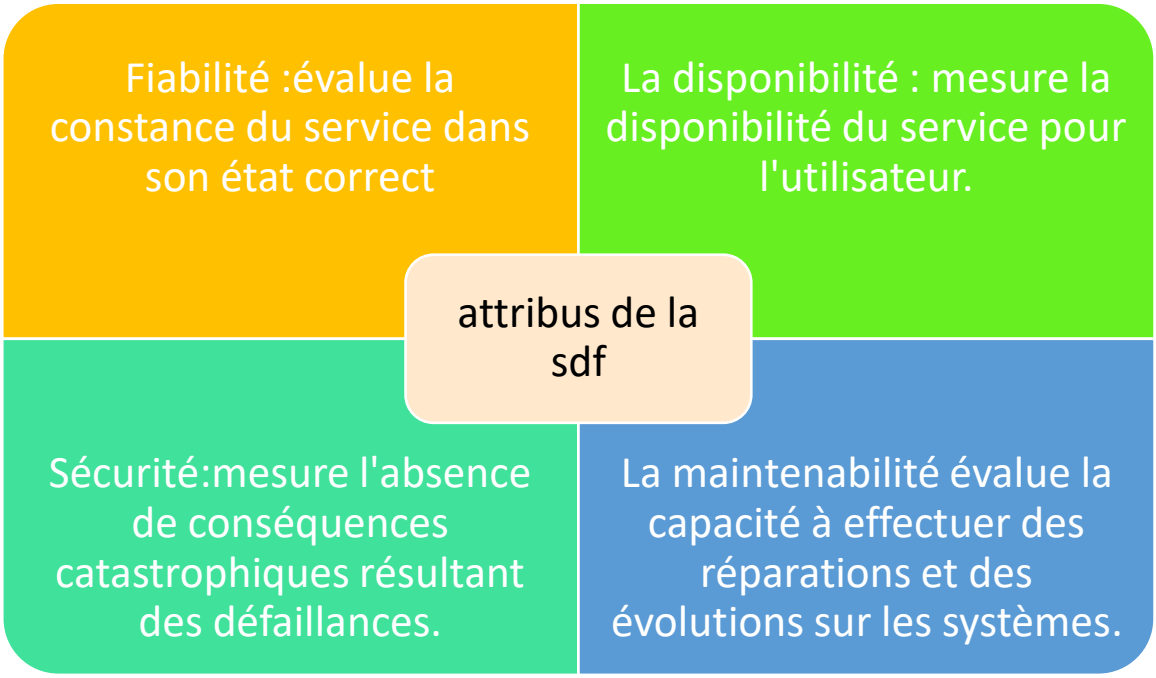

Figure II.2 : Les attributs de la SDF

II.5.5. Les moyens de la SDF

Les stratégies de la Sûreté de Fonctionnement proposent des solutions éprouvées pour interrompre les séquences dans le cycle faute-erreur-défaillance :

1. Prévention des fautes : pour empêcher l'introduction de fautes lors du développement du système.
2. Tolérance aux fautes : pour maintenir le service du système même en présence de fautes, en acceptant un fonctionnement dégradé.
3. Élimination des fautes, pouvant être divisée en deux phases :
   - Élimination durant la phase de développement.
   - Élimination durant la phase d'utilisation.
4. Prévision des fautes : pour anticiper les fautes et évaluer leur impact sur le système, soit de manière qualitative ou quantitative.

Dans le domaine de la prévision, plusieurs outils sont utilisés, tels que :

- Approche qualitative :
  - Analyse préliminaire des risques (APR).
  - Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC).
  - Construction d'arbres de défaillances pour identifier les causes potentielles.
- Approche quantitative (probabiliste) :
  - Utilisation d'arbres de défaillances avec des méthodes de traitement mathématique.
  - Utilisation de Blocs Diagramme de Fiabilité (BDF), de Diagrammes de Fiabilité ou de Reliability Block Diagrams (RDB).
  - Utilisation de Chaînes de Markov.
  - Utilisation de Réseaux de Petri.
  - Modélisation de la croissance de fiabilité. [**https://pressbooks.pub]**

II.6 :Les attributs de la Sûreté de Fonctionnement

II.6.1 :La Fiabilité :

a fiabilité d'un système se définit comme sa capacité à remplir une fonction requise dans des conditions spécifiques pendant une durée déterminée. On considère généralement que le système est opérationnel au début de cette période définie (V, 1991).

Dans divers contextes, la fiabilité peut être évaluée selon plusieurs critères :

- La probabilité, notée R(t), que le système reste fonctionnel sur l'intervalle de temps [0,t[, sachant qu'il était fonctionnel à t=0.
- La probabilité, notée f(t), que le système subisse une défaillance pendant un intervalle de temps donné. Pour un système à deux états, cette probabilité est définie comme f(t) = 1 - R(t).
- Le temps moyen avant la première défaillance, désigné par MTTF (Mean Time To Failure en anglais), calculé comme l'intégrale de R(t) sur [0,∞].
- Le taux de défaillance instantané, λ(t), défini comme le rapport de la variation temporelle négative de R(t) sur R(t) (Villemeur, 1991).

En pratique, le taux de défaillance instantané λ(t) est calculé selon l'approche suivante [V, 1991]

$$\lambda(t)=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{1}{\Delta t}\frac{P\left(\begin{matrix}entité\ soit\ défaillance\ entre\ t\ et\ \Delta t\\ et\ non\ défaillance\ sur[0;t]\end{matrix}\right)}{P(enité\ soit\ non\ défaillance\ sur[0;t])} \quad \text{(II.1)}$$

La courbe représentant le taux de défaillance λ(t) présente une forme en « baignoire » (Figure 2), qui illustre les trois périodes de vie d'un système selon [K & H (1996)] : la période de déverminage, la période de vie utile et la période de vieillissement.

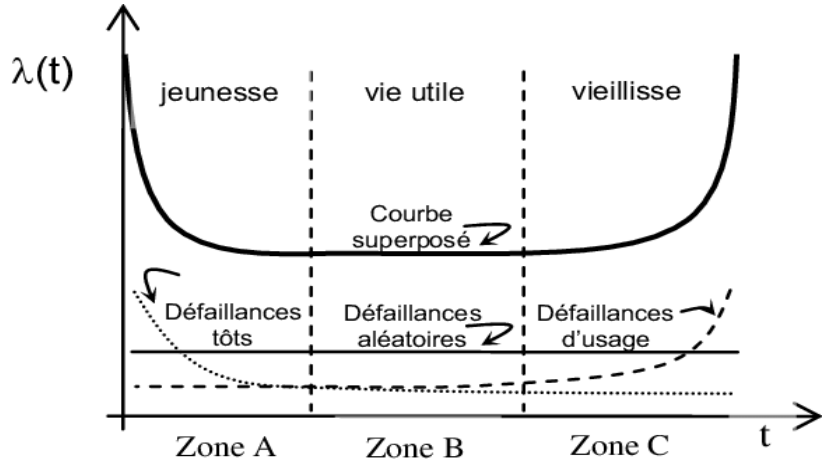

Figure II.3. Evolution du taux de défaillance d'un système.[**G.A.P.C 2008]**

II.7 :Les lois principaux

Les lois de fiabilité sont de plus en plus souvent quantitatives, nécessitant une compréhension des distributions de durée de vie pour leur estimation. Dans cette section, nous présentons les principales lois et modèles de fiabilité qui sont couramment utilisés pour représenter les distributions de durée de vie dans l'analyse de la sûreté de fonctionnement. Nous examinons leurs propriétés, les fonctions associées, les densités de probabilité et les taux de défaillance.

On distingue généralement deux types de lois :

- **Lois discrètes** : Une loi est dite discrète si elle prend des valeurs entières, telles que le nombre de pannes.
- **Loi uniforme** : Cette distribution de probabilité est caractérisée par le fait que toutes les valeurs prises par la variable aléatoire sont équiprobables.

Avec les paramètres de signification :

n : est le nombre de valeurs différentes prises par la variable aléatoire.

$p(x = x_i) = \frac{1}{n}$

- **Loi binomiale** : Cette loi décrit une expérience aléatoire à deux résultats possibles, souvent désignés comme "succès" et "échec". Elle est utilisée pour modéliser des événements répétés avec une probabilité de succès constante.

  », la probabilité d'un succès étant p.

  Sa fonction de probabilité est :

  $P(K) = P(x = K) = C_k^n P^k q^{n-k}$ (II.2)

  $C_k^n = \frac{\text{n!}}{\text{k!(n−k)!}}$

  Avec les paramètres de signification :

  (n ≥ 0) : Nombre d'épreuves.

(0 ≤p ≤ 1) : probabilité de succès. et **q = 1 –p.**

- **Loi binomiale négative** : Cette loi compte le nombre d'échecs nécessaires avant d'obtenir un certain nombre de succès dans une série d'essais, avec une probabilité de succès constante.

La formulation de la fonction de probabilité pour la loi binomiale est la suivante Sa fonction de probabilité est :

$P(X = K) = f(k, n, p) = C_k^{k+n} P^n q^k$ (II.3)

La loi binomiale négative peut aussi s'écrire sous la forme :$f(k, n, p) = C_k^{-n} P^n (-q)^k$

Où C_k^{-n}est un coefficient binomial appliqué à un entier négatif et est défini par :

$$C_k^{-n} = \frac{(-n)(-n-1)\ldots(-n-k+1)}{k!}$$

Cette expression justifie le nom de loi binomiale négative donnée à cette loi de probabilité.

- **Loi de Bernoulli** : Considérons un ensemble comportant deux possibilités, notées S pour succès et E pour échec, représentées par {E, S}. Sur cette base, nous définissons une variable aléatoire discrète, le "nombre de succès", qui prend les valeurs suivantes au cours d'une expérience :

- Si S se réalise, alors X = 1
- Si E se réalise, alors X = 0

  La fonction de fiabilité peut être exprimée ainsi :

- La probabilité que X soit égal à 0 est notée q
- La probabilité que X soit égal à 1 est notée p (avec la contrainte que p + q = 1)

- **Loi géométrique** :

La loi géométrique est une distribution de probabilité fréquemment utilisée dans divers contextes. Elle est définie par le paramètre p (0 < p < 1) selon le modèle suivant :

Nous partons d'une série d'essais de Bernoulli,

où la probabilité de succès est p et celle d'échec est q = 1 - p.

Ces essais sont renouvelés de manière indépendante jusqu'à l'occurrence du premier succès. La variable aléatoire X représente alors le rang du premier succès.

Les valeurs possibles pour X sont les entiers naturels à partir de 1.

La probabilité que X prenne la valeur k, pour k = 1, 2, 3, ..., est donnée par la fonction de probabilité : p(k) = q^(k-1) * p (II.4)

- **Loi hypergéométrique** : Une loi hypergéométrique de paramètres n, p et A se décrit comme suit:

  Nous effectuons simultanément un tirage de n éléments dans une urne contenant pA éléments gagnants et qA éléments perdants (avec q = 1 - p).

  Ensuite, nous comptons le nombre de boules gagnantes extraites, représenté par la variable aléatoire X. Sa fonction de probabilité est donnée par :

$$p(k) = \frac{c_{pa}^{k} C_{qa}^{n-k}}{C_{a}^{n}} \quad \text{(II.5)}$$

où l'univers X (Ω) est l'ensemble des entiers de 0 à n.

Concernant la loi de Poisson :

Une variable aléatoire x suit une loi de Poisson si elle peut prendre les valeurs entières 0, 1, 2, 3,…, n. La probabilité que x soit égal à k est donnée par :

$$(x = n) = e^{-\lambda}.\frac{\lambda^{n}}{n!} \quad \text{(II.6)}$$

où λ est le paramètre de la loi (une constante positive).

- **La relation de Poisson** énonce que la probabilité d'occurrence d'un événement est d'autant plus probable que la population est grande et le nombre d'événements est petit.

Par conséquent, la loi de Poisson est utilisée pour étudier des phénomènes rares tels que les accidents, les pannes ou les défauts de fabrication, où la probabilité p est très faible

(p < 0.05). Elle peut également être définie comme la limite d'une loi binomiale dans certaines conditions.

La probabilité de constater un certain nombre de pannes (n) dans un intervalle de temps (t) et uniquement (n) pannes est :

$$P(x = n) = e^{-\lambda}.\frac{\lambda^n}{n!}. \quad \text{(II.7)}$$

L'espérance mathématique est : λt.

La variance : λt.

L'écart type $\sigma = \sqrt{\lambda t}$.

Défaillance, également connue sous le terme "failure" en anglais**, (B.F 2008)**, est définie par Villemeur comme la cessation de l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise. La survenue d'une défaillance résulte de diverses causes, qui peuvent être liées à la conception, à la fabrication ou à l'utilisation de l'entité, et qui ont conduit à cette défaillance. Le mode de défaillance représente l'effet observable résultant de cette défaillance.

Le taux de défaillance est étroitement lié à la probabilité qu'un composant soit défaillant à un instant t+dt, sachant qu'il n'est pas défaillant à l'instant t. Ce taux, noté λ, est exprimé en fonction de la fiabilité selon la relation suivante :

$$\lambda(t) = -\frac{d}{dt}(log\, R(t)) \quad \text{(II.8)}$$

- **La loi Gamma**

La loi Gamma est utilisée pour modéliser l'instant d'occurrence du αème événement dans un processus de Poisson.

Si les durées entre les événements successifs sont des variables aléatoires indépendantes et identiquement distribuées selon une loi exponentielle de paramètre β, alors le temps cumulé

d'apparition de ces événements suit une loi Gamma de paramètre (α, β). Sa densité de probabilité est :

$$f(t) = \frac{\beta^{\alpha} t^{\alpha-1} e^{-\beta t}}{\tau(\alpha)} \quad \text{(II.9) pour} \quad t \geq 0 \ , \alpha \geq 1 et \beta \geq 0.$$

- **Loi inverse gamma**

La loi inverse gamma, quant à elle, est l'inverse d'une variable aléatoire distribuée selon une distribution Gamma. Sa fonction caractéristique est :

$$p(x) = \frac{\beta}{\tau(\alpha)} x^{-\alpha-1} e^{(\frac{-\beta}{x})} \quad \text{(II.10)}$$

avec les paramètres de signification :

- α>0 : paramètre de forme
- β>0 : paramètre d'échelle

- **La loi normale**

aussi appelée loi de Gauss, est utilisée pour approximer les probabilités associées à des variables aléatoires binomiales ayant un grand paramètre 'n'. Elle est couramment utilisée pour modéliser de nombreux phénomènes aléatoires. Sa fonction de densité est ::

- $n(t) = \frac{\mathrm{n}}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}(\frac{t-\mu}{\alpha})^{;}}$ (II.11)

avec les paramètres de signification :

μ : La moyenne.

σ : L'écart type.

n : Le nombre total d'individus dans l'échantillon.

n(x) : Le nombre d'individus pour lesquels la grandeur analysée a la valeur x.

- **La loi Log-normale**

a loi log-normale est une loi flexible étroitement liée à la loi normale. Une variable aléatoire continue, positive T est distribuée suivant une loi log-normale (ou loi de Galton ou loi de Gibrat), notée par LN($\mu_$; $\sigma_$), si son logarithme est distribué suivant une loi normale.

Cette distribution est largement utilisée pour modéliser des données de vie, en particulier les défaillances par fatigue en mécanique .

La fonction de répartition est

$$F(t) = \frac{1}{\sigma t\sqrt{2\pi}} \int_0^i e^{(-\frac{1}{2}(\frac{\ln t-\mu}{\sigma})^2)dx} \quad \text{(II.12)}$$

_ La fonction de fiabilité est :

$$R(t) = \frac{1}{\sigma t\sqrt{2\pi}} \int_t^\infty e^{(-\frac{1}{2}(\frac{\ln t-\mu}{\sigma})^2)dx} \quad \text{(II.13)}$$

_ La densité de probabilité d'une loi log-normale de paramètres positifs μ est :

$$f(t) = \frac{1}{\sigma t\sqrt{2\pi}} e^{\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln t-\mu}{\sigma}\right)^2\right)}. \; t > 0 \quad \text{(II.14)}$$

_ Sa durée de vie moyenne est :

$$MTTF = e^{\mu+\frac{\sigma^2}{2}} \quad \text{(II.15)}$$

_ Le taux de défaillance est :

$$\lambda(t) = \frac{e^{\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln t-\mu}{\sigma}\right)^2\right)}}{t \int_0^\infty \sigma\sqrt{2\pi}\, f(t)dt} \; . \text{(II.15)}$$

- **Loi Bêta**

représente la probabilité pour qu'un matériel survive jusqu'à un instant t, lorsqu'on teste n matériels. Elle a deux paramètres, α et β, et sa densité de probabilité est donnée par :

$$f(t) = \frac{\Gamma(a+b)}{\Gamma(a).\Gamma(b)} t^{\alpha-1}.(1-t)^{b-1} \quad \text{(II.16)}$$

- **La loi de Wei bull**

La loi de Weibull est souvent utilisée en mécanique pour sa flexibilité. Elle est caractérisée par trois paramètres, γ, η, et β, et sa densité de probabilité, fonction de répartition, fiabilité et taux de défaillance sont données.

La loi exponentielle, utile pour modéliser des défaillances brutales, est définie par un seul paramètre, le taux de défaillance λ. Ses différentes caractéristiques incluent la fonction de répartition, la fiabilité, la densité et la durée de vie moyenne.

La loi logistique, caractérisée par les paramètres μ et s, est une loi de probabilité dont la fonction de répartition est une fonction logistique.

Enfin, la loi log-logistique, également utilisée en statistiques et en économie, est définie par les paramètres α et β, avec une fonction de répartition spécifique

- La fonction de répartition :

$$F(t) = 1-e^{\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}} \quad \text{(II.17)}$$

_ La fiabilité :

$$R(t) = e^{\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}} \quad \text{(II.18)}$$

_ La densité de probabilité :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta}\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}} \quad \text{(II.19)}$$

_ Le taux de défaillance :

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

_ La moyenne des temps de bon fonctionnement :

$$MTTF = \gamma + \eta\Gamma\left(1+\frac{1}{\beta}\right) \quad \text{(II.21)}$$

où **Γ** est la fonction gamma définie par :

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{+\infty} t^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad \text{(II.22)}$$

En particulier, Γ(n) = (n -1)! pour tout n ∈IN*

La variance :

$$\alpha^2 = \eta^2\left[\Gamma\left(1+\frac{2}{\beta}\right) - \Gamma^2\left(1+\frac{1}{\beta}\right)\right]. \quad \text{(II.23)}$$

✓ **Remarque**

1. Le paramètre de position γ étant souvent nul, on se ramène à :

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

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

$$F(t) = \frac{\beta}{\eta}\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} . e^{\left(-\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}}, \quad \text{(II.26)}$$

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta}\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad \text{(II.27)}$$

- Lorsque β=0β = 0β=0, nous obtenons la distribution de Weibull à 2 paramètres, avec des caractéristiques illustrées sur la Figure 1.6.
- La distribution de Weibull permet de représenter les trois périodes de la vie d'un dispositif, aussi connues sous le nom de courbe de baignoire.
- Elle caractérise le comportement du système selon la valeur du paramètre de forme . Pour β<1β < 1β<1, cela correspond à la période de jeunesse où le taux de défaillance est décroissant.
- Pour β=1β = 1β=1, c'est la période de vie utile où le taux de défaillance est constant. Enfin, pour β>1β > 1β>1, il s'agit de la période d'usure ou de vieillissement où le taux de défaillance est croissant.

Figure II.11: principales propriétés de la distribution de Weibull

- **La loi exponentielle**

La loi exponentielle, définie par un seul paramètre, le taux de défaillance λ, est souvent utilisée pour modéliser des défaillances brutales. Elle décrit le temps écoulé jusqu'à une défaillance ou l'intervalle de temps entre deux défaillances. Sa fonction de répartition, fiabilité, densité et durée de vie moyenne sont explicitées, montrant que le taux de défaillance est constant, ce qui la rend adaptée pour modéliser les systèmes qui ne s'usent pas et qui ne s'améliorent pas:

_ Sa fonction de répartition est :

$$F(t) = 1\text{-}e^{-\lambda t} \quad \text{(II.28)}$$

_ Sa fiabilité est :

$$R(t) = 1 - F(t)$$
$$= e^{-\lambda t} \quad \text{(II.29)}$$

_ Sa densité est :

$$f(t) = \acute{F}(t)$$
$$= \lambda e^{-\lambda t} \quad \text{(II.30)}$$

_ Sa durée de vie moyenne est :

$$MTTF = E[T] \quad \text{(II.31)}$$
$$= \int_0^{+\infty} R(t)\, dt$$
$$= \int_0^{+\infty} e^{-\lambda t}\, dt$$
$$= \frac{1}{\lambda}$$

_ Son taux de défaillance est :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad \text{(II.32)}$$

- **La loi logistique** :

Caractérisée par les paramètres μ et s, est une loi de probabilité dont la fonction de répartition est une fonction logistique.

Quant à la loi log-logistique, elle est utilisée pour modéliser la durée de vie d'événements dont l'intensité augmente puis diminue, comme dans le cas de la mortalité due au cancer après le diagnostic ou le traitement. $$F(x) = \frac{e^{-\frac{x-\mu}{s}}}{s\left(1+e^{-\frac{x-\mu}{s}}\right)^2} \quad \text{(II.33)}$$

Elle se distingue de la loi log-normale par des queues plus épaisses et possède une expression explicite pour sa fonction de répartition. $$F(x) = \frac{1}{1+e^{-\frac{x-\mu}{s}}} \quad \text{(II.34)}$$

Ses paramètres α et β ont des significations spécifiques, et la distribution est unimodale lorsque β > 1, avec une dispersion décroissante lorsque β augmente..

- **La loi log-logistique**

Connue sous le nom de distribution de Fisk en économie, est une distribution de probabilité continue utilisée pour modéliser la durée de vie d'un événement dont l'intensité augmente puis diminue. Par exemple, elle est utilisée pour étudier la mortalité due au cancer après diagnostic ou traitement, ainsi que dans des domaines tels que l'hydrologie pour modéliser le débit d'un cours d'eau ou le niveau des précipitations, et en économie pour modéliser l'inégalité des revenus.

Cette loi décrit une variable aléatoire dont le logarithme suit une loi logistique. Bien qu'elle ressemble à la loi log-normale, elle se distingue par des queues de distribution plus épaisses. Sa fonction de répartition admet une expression explicite :

$$F(x,\alpha,\beta) = \frac{1}{1+(x/\alpha)^{-\beta}} \quad \text{(II.35)}$$

$$= \frac{(x/\alpha)^{\beta}}{1+(x/\alpha)^{\beta}}$$

$$= \frac{x^{\beta}}{\alpha^{\beta}+x^{\beta}}$$

Les paramètres α et β ont des significations spécifiques :

- α > 0 est un paramètre d'échelle qui joue également le rôle de médiane de la distribution.
- β > 0 est un paramètre de forme.

La distribution est unimodale lorsque β > 1, et sa dispersion diminue à mesure que β augmente.

II.7 :La Disponibilité

La disponibilité d'un système représente sa capacité à accomplir une fonction requise dans des conditions spécifiées et à un moment donné. Généralement exprimée comme une probabilité, elle indique la probabilité qu'une entité soit en mesure d'accomplir sa fonction à un instant précis, et est symbolisée par

$A(\ ) = P[$ non défaillante a ` l'instant $t\ ]$

A(t)=P[E non défaillante a ` l'instant t].

Cette mesure est appelée disponibilité instantanée. En contraste, l'indisponibilité représente l'opposé de cette aptitude.

La définition de la disponibilité ne tient pas compte de l'historique de l'entité, qu'elle ait été réparée ou non avant l'instant , ce qui en fait une probabilité non conditionnelle. Ainsi, pour un système non réparable, la disponibilité est équivalente à la fiabilité, et en général,

$A(\ ) \geq R(\ )$ A(t)≥R(t).

La disponibilité peut être décomposée en termes de fiabilité et de maintenabilité.

II.8 : Différents nivaux de la disponibilité

Les différents niveaux de disponibilité comprennent :

- **Disponibilité intrinsèque théorique**: Celle-ci est calculée en prenant en considération les moyennes des temps de bon fonctionnement et des temps de réparation. Elle est définie par la formule :

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \quad \text{(II.36)}$$

- **Disponibilité moyenne**

Sur un intervalle de temps donné, cette disponibilité peut être évaluée en utilisant les rapports suivants $\boldsymbol{D_m = \frac{TCBF}{MCBF+TCI}}$ (II.37) où TCI représente le temps cumulé d'immobilisation.

- **Disponibilité opérationnelle**

Cette mesure prend en compte les temps logistiques, et peut être calculée selon la formule : $D_{0=\frac{MTBF}{MTBF+MTTR+MTL}}$ (II.38) où MTL représente la moyenne des temps logistiques.

- **Disponibilité asymptotique**

Lorsque λ et μ sont indépendants de temps et quand (t) devient grand, on constate que D (t) tend vers une valeur constante.

Cette valeur est souvent dénommée disponibilité asymptotique et se note A∞ est égale à :

$$A\infty = \frac{\mu}{\mu+\lambda} \quad \text{comme :} \quad A\infty = \frac{\mu}{\mu+\lambda} \text{ (II.39)}$$

Avec :

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} \quad , \quad \mu = \frac{1}{MTTR}$$

- **Disponibilité instantanée**

Pour un système avec des taux de défaillance et de réparation constants, la disponibilité instantanée D(t) est donnée par :

$$D(t) = \frac{\mu}{(\mu+\lambda)} + \frac{\lambda}{\mu+\lambda} e^{-(\lambda+\mu)t} \quad \text{(II.40)}$$

II.9 :La Maintenabilité

se réfère à la capacité d'un équipement à être rapidement restauré ou réparé dans un état permettant d'accomplir sa fonction requise, lorsque la maintenance est effectuée selon des procédures et des moyens spécifiques dans des conditions déterminées. Elle peut également être considérée comme la probabilité de rétablir un système dans des conditions de fonctionnement spécifiées, dans des limites de temps désirées, en utilisant des procédures et des moyens prescrits.

Cette notion de maintenabilité peut être subdivisée comme suit :

- **La maintenabilité intrinsèque,** qui est intégrée dès la phase de conception en tenant compte de critères tels que la modularité et l'accessibilité.
- **La maintenabilité prévisionnelle**, qui est également intégrée dès la conception, mais en fonction des objectifs de disponibilité.
- **La maintenabilité opérationnelle**, qui est mesurée à partir des données historiques d'interventions.

L'analyse de la maintenabilité permet d'estimer le temps moyen pour réparer (MTTR) ainsi que les lois probabilistes de maintenabilité, qui reposent sur des modèles similaires à ceux utilisés pour la fiabilité.

II.10:La Sécurité

Bien que la norme [CEI 50 (191), 1990] ne considère pas la sécurité comme une composante de la sûreté de fonctionnement, nous pensons qu'il est crucial de l'inclure car l'occurrence d'un événement catastrophique peut mettre en danger la vie humaine.

Définir et évaluer le concept de sécurité est sans doute l'une des tâches les plus complexes, car il englobe divers aspects. Cependant, la norme [EN 292 – 1, 1991] sur la sécurité des machines fournit la définition suivante :

l'aptitude d'une machine à accomplir sa fonction, être transportée, installée, mise au point, entretenue, démontée et mise au rebut dans les conditions d'utilisation normales spécifiées dans la notice d'instructions, sans causer de lésions ou d'atteinte à la santé.

La sécurité peut également être exprimée comme une probabilité que le système évite de générer, dans des conditions données, des événements critiques ou catastrophiques (Villemeur, 1988). Si l'on divise les défaillances d'un système en deux catégories, celles qui sont dangereuses et celles qui ne le sont pas, alors la sécurité peut être vue comme la partie de la fiabilité liée aux défaillances dangereuses.

Ce concept devient souvent central dans une analyse de sûreté de fonctionnement, car une défaillance du système peut présenter un risque de dommages corporels pour les utilisateurs.

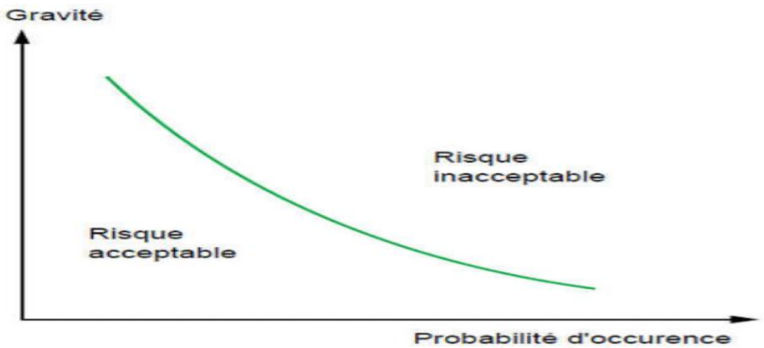

Figure II.4 : Le niveau de risque représente la fonction du couple : gravité, probabilité d'occurrence, [(**Matthieu Desinde2006**]

La Sécurité, se définit par l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise dans des conditions données sans provoquer d'événement catastrophique

S(t) = Probabilité {E soit sans défaillance catastrophique sur [0,t]}

Les mesures essentielles de la sûreté de fonctionnement sont influencées par diverses interactions, comme montré la figure suivante :

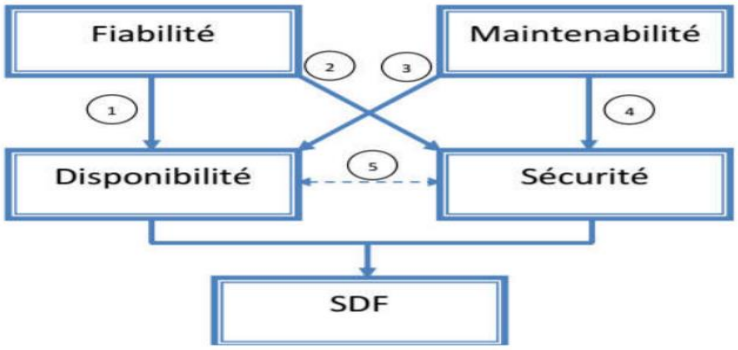

Figure II.5 Les mesures essentielles de la sûreté de fonctionnement

La Figure II.5 démontre que :

1. Une fiabilité insuffisante peut conduire à une disponibilité réduite du système en cas de fréquentes défaillances (interaction 1).
2. Une fiabilité médiocre peut entraîner une sécurité compromise, car les accidents sont souvent associés à des défaillances du système (interaction 2).
3. Une maintenabilité déficiente peut entraîner une disponibilité réduite en favorisant l'augmentation du nombre de défaillances (interaction 3).
4. Une maintenabilité insatisfaisante peut également compromettre la sécurité, puisque, tout comme pour la fiabilité, les statistiques montrent que les accidents sont souvent liés à des défaillances du système (interaction 4).
5. des contraintes élevées en matière de sécurité conduisent à une mauvaise disponibilité (interaction 5).

II.11 :Enjeu de la sureté de fonctionnement

L'objectif de la sûreté de fonctionnement est d'anticiper les risques dès les premières étapes du développement d'un produit.

Plus une erreur de conception est détectée tardivement, plus les conséquences techniques peuvent être graves, entraînant des surcoûts et des retards significatifs pour le projet. Ces risques potentiels peuvent mettre en péril la sécurité des individus et des biens, causer des dommages environnementaux et entraîner la perte de fonctionnalités.

La sûreté de fonctionnement est une discipline d'ingénierie système qui peut être abordée qualitativement ou quantitativement. La composante qualitative vise à optimiser les études, représentant environ 70% de l'activité totale, tandis que les 30% restants se concentrent sur la maîtrise des risques avant la fabrication à partir des architectures déjà établies.

Cette phase implique l'optimisation des architectures des systèmes et de leur déploiement afin de renforcer leur résilience face aux aléas, tout en minimisant les coûts. En résumé, l'analyse de la sûreté de fonctionnement vise à réduire les risques et donc les coûts liés à la réalisation du projet. Cette analyse est principalement menée durant les premières phases des projets, jusqu'à leur mise en production**.[L. J.C 2004].**

II.12. Conclusion

Après avoir retracé l'historique de la sûreté de fonctionnement, ce chapitre explore les principales méthodes d'analyse et les outils associés.

L'objectif de ce chapitre est d’étudier la sûreté de fonctionnement d'un système d'une part, identifier ses modes de défaillance, les scénarios conduisant aux pannes, les conséquences correspondantes, et évaluer quantitativement les probabilités d'occurrence des événements indésirables et des scénarios associés d'autre part,.

Présentation de l’entreprise

III.1. Introduction

Fondée en [1979], Cosider est une entreprise algérienne de renom dans le domaine de la construction et de l'ingénierie, jouant un rôle crucial dans le développement économique et l'infrastructure de l'Algérie. Depuis ses débuts,

Cosider a été un pilier de l'industrie, contribuant à la réalisation de projets d'envergure tant nationaux qu'internationaux, grâce à son expertise variée dans les domaines de la construction, du génie civil, de l'énergie et de l'ingénierie.

La portée d'action de Cosider est vaste, couvrant divers secteurs tels que la construction d'infrastructures routières, ferroviaires, portuaires et aéroportuaires. L'entreprise est également impliquée dans des projets énergétiques majeurs, notamment la construction de centrales électriques et d'installations pétrolières et gazières. Son influence et son leadership dans ces domaines en ont fait un acteur incontournable sur le marché.

Un aspect clé de l'identité de Cosider réside dans son engagement envers l'excellence et la qualité. L'entreprise adhère à des normes strictes de sécurité, de durabilité et de préservation de l'environnement dans toutes ses réalisations, ce qui lui a valu une réputation solide et respectée.

Grâce à des partenariats stratégiques avec des entreprises nationales et internationales, Cosider bénéficie d'une expertise diversifiée et demeure à la pointe de l'innovation dans son secteur. Ces alliances lui permettent d'élargir son champ d'action et d'explorer de nouvelles opportunités de croissance et de développement.

Parmi les projets emblématiques réalisés par Cosider, on compte la construction de l'autoroute Est-Ouest, un projet majeur en Algérie qui relie les régions est et ouest du pays. L'entreprise a également contribué à la construction de nombreux ponts et ouvrages d'art à travers le pays, facilitant ainsi la circulation et renforçant l'accessibilité entre les différentes régions. De plus, sa participation à la construction de centrales électriques a permis de renforcer la capacité énergétique de l'Algérie et de répondre à la demande croissante en électricité.

Cosider Travaux Publics, une filiale de Cosider et leader du BTPH en Algérie, capitalise sur plus de 35 ans d'expérience. Sa stratégie actuelle est axée sur le développement durable, avec un programme de recrutement et de formation visant à améliorer les compétences de son

personnel. L'entreprise vise à renforcer sa position de leader en investissant dans de nouveaux créneaux technologiques et en adoptant des pratiques de gestion modernes.

Fortement expérimentée dans la construction d'importants ouvrages d'infrastructures publiques, Cosider Travaux Publics a réalisé un nombre significatif de projets avec succès, ce qui lui confère une position de leader incontesté au niveau national dans son domaine d'activité, position qu'elle s'efforce de maintenir.

Depuis 2012, une nouvelle organisation a été mise en place chez Cosider Travaux Publics, accordant une plus grande importance aux chantiers qui sont désormais en relation directe avec les divisions. Cette réorganisation renforce le leadership de Cosider Travaux Publics sur le marché et ouvre de nombreuses opportunités de carrière pour l'ensemble des collaborateurs. Les structures centrales, quant à elles, mettent en œuvre les politiques générales de l'entreprise et interviennent dans l'optimisation des achats et des approvisionnements.

Le plan de charge actuel de Cosider Travaux Publics assure une activité soutenue pendant plusieurs années. Cependant, la structure divisionnaire permet, sur le plan organisationnel, d'atteindre les objectifs en mobilisant de manière plus efficace les ressources et en améliorant la réactivité.

Certifiée selon le référentiel international ISO 9001 Version 2000 depuis 2006, Cosider Travaux Publics occupe une position dominante dans plusieurs domaines d'activité clés pour le développement du pays :

- Division Travaux Infrastructures : Réalisation de routes, autoroutes, voies ferrées, pistes d'aérodromes et ouvrages d'art.
- Division Ouvrages Spéciaux : Réalisation d'ouvrages souterrains et maritimes.
- Division Barrages : Construction de grands ouvrages hydrauliques tels que les barrages et les transferts.
- Division Travaux ferroviaires : Préparation et exécution des travaux de chantiers ferroviaires

La vision de Cosider est ambitieuse : devenir un acteur mondial de premier plan dans le domaine de la construction et de l'ingénierie, tout en restant ancrée dans ses valeurs fondamentales de qualité, d'intégrité et de responsabilité sociale. En tant qu'entreprise phare de l'industrie algérienne, Cosider continue de jouer un rôle essentiel dans le développement socio-économique du pays. Grâce à son expertise, son engagement envers l'excellence et ses

partenariats stratégiques, elle est bien positionnée pour relever les défis futurs et poursuivre sa trajectoire de succès

III.2. La Direction Centrale du Matériels M'sila :

La direction centrale du matériel est responsable de tout le matériel utilisé dans l'entreprise Cosider Travaux Publics. Elle fournit à tout les projets de tous types du matériel et faire également le suivie et l'entretien au sein de ses ateliers spécialisés.

III.2.1. Description des structures des services

- Directeur de centrale
- Chef département administration et personnel
- Chef département Gestion
- Chef département Maintenance
- Chef département Approvisionnement
- Chef Département Comptabilité

Ainsi que :

- Chef de Service de maintenance
- Chef de Service de gestion
- Chef de Service de personnel
- Chef de Service d'approvisionnement
- Responsable HSE et Qualité
- Responsable de sécurité
- Chef de parc
- Médecin de travail

III.2.2. Les Départements et leur service et personnel

III.2.2.1. Département administration et personnel :

- Le service ressources humaines est chargé de l'administration et la gestion du personnel
- La gestion de RH est un ensemble de fonction et de mesures dont l'objectif est de mobiliser st développer la capacité du personnel d'entreprise afin d'obtenir de ce dernier une plus grande efficacité et une meilleur productive
- personnel –principal)

Attributions :

- Traitement des dossiers et la paie

- Traitement de la paie
- Gestion de formation et perfectionnement du personnel
- gestion de la fiche information qui contient toutes les informations sur le personnel

Effectif :

- Chef département
- Chef service du personnel
- 3 Cadres Administrative
- 2 Secrétaire

III.2.2.2. Service comptabilité et finance :

la finance et comptabilité est une technique de gestion normalisée qui consiste à saisir et mouvements affectant l'exploitation ou la structure d'une entreprise et résultant soit de son activité interne ,soit de ses relations avec l'extérieur .

L' effectif de la structure est composé de :

- Un chef service finances et comptabilité
- Un chargé d'étude
- Un comptable principale
- Un comptable
- Un agent gestion règlement
- caissier

Attributions de comptabilité :

- Vérification, affectation et comptabilisation divers documents comptables
- Rapprochement bancaire et CCP.
- Classement et archive des divers documents
- Journées de la caisse.
- Dossier facture
- Paie permanant.
- Avis de débit
- Déclaration C. N.A.S (charges sociales)

III.2.2.3. Département de la gestion :

Ce département s'intéresse à

- Gérer et suivre touts le Matériel de la direction
- classifier les dossiers des Machines

- préparer les documentations (les demandes Service , les fichiers de transfert, les bordereaux d'expédition)
- planer les formations en coordination avec les autres départements surtout le département de la maintenance

Effectif :

- chef département
- Section gestion de grands matériels
- Section gestion de petit matériel
- Section informatique
- Service GPS
- Section gestion de matériels spécifiques
- Section gestion des stocks et magasins

Toutes les sections sont gérées par des chefs des sections ainsi que d'autres gestionnaires

III.2.2.4. Département Approvisionnement

Assure les opérations d'approvisionnement selon l'ensemble des besoins de la centrale du matériel.

Missions : structures faire les besoins exprimes pour les différents structures d'unité.

Les besoins exprimes la structure demandé est établir un DM (demande d'achats et de travaux) et précise les point suivante :

- Précisée (Désignation, référence et quantité …)
- Imputation
- DM Signée par le Directeur d'unité.

Procédure d'achats

- Achat (fournisseurs locaux)
- Achat (fournisseurs étrangers)

Où pour faire un achat sur la base d'une facture proformat.

Présentation d'un facture proformat établissement d'un bon de commande et

Réception du matériel.

Il passe soit sur une consultation restreinte, soit sur la baise d'un appel d'offre, soit au Gré à gré.

En cas de consultation restreinte il faut demander dérogation, est le lancer la consultation après l'accord du PDG.

Le fournisseur est l'unique en transmettre la facture du matériel soit il est constructeur lui-même. Un demande de dérogation pour le gré à gré sera transmise au DG .

Après l'accord obtenu l'achat se fait chez le seul fournisseur direct.

L'effectif :

- Un Chef département
- Un chef service APPROS
- Un Chargé d'études
- Deux technicien principal achat
- Un technicien acheteur
- Un acheteur

III.2.2.5. Le Département de la maintenance :

Ce département s'intéresse à la maintenance de tout le matériel de la direction , il contient 8 sections sont :

- Section Matériel roulants
- Section GMAO
- Section installations fixe
- Section matériel spécifique
- Section de suivi ALREM
- Section des Engins
- Section de Maintenance
- Section ordonnancement

Pour Chaque section il y a un chef de Section sauf la section de maintenance et des Engins (il ya 3 pour les deux)

Ainsi que trois Atelier :

- Atelier des Engins :

Suivi par deux chef d'atelier ,4 ingénieurs, 9 mécaniciens, 2 soudeurs, 2 électriciens et un cadre chargé de la paperasse

- Atelier Energétique et Pneumatique

Suivi par un Chef d'atelier, 5 Ingénieurs, 4 technicien supérieurs, 4 Soudeurs, 5 mécaniciens et un sableur

- Atelier du Matériels léger et Lourd

Suivi par deux Chef d'atelier, 12 mécaniciens, 2 électriciens, 2 vulcanisateurs, 2 soudeurs, un magasinier.

Attributions pour les ingénieurs d'étude électromécanique

- Mener des études de modification et de rénovation liées à la partie mécanique des équipements
- Mettre à jour les schémas des organes mécaniques
- Superviser les travaux d'intervention
- Préparer les matériels pour travaux
- Préparer la documentation technique
- Préparer les inspections
- Gérer pour chaque pièce mécanique ; les dossiers matériels, les gammes types de visites et l'historique des interventions
- Etablir les cahiers des charges et Prévoir la pièce de sécurité
- Etablir et traiter les demandes matérielles
- Analyser et expertiser les incidents
- Superviser la réalisation des études de modification et de rénovation
- Veiller à la disponibilité des pièces électriques
- Veiller a la disponibilité des outillages
- Veiller à l'application des consignes de sécurité

D'après le stage que nous avons effectué au niveau de l'entreprise nous avons choisi le groupe électrogène grâce à son rôle important dans cette dernière .

III.3. Généralité sur le groupe électrogène

III.3.1. Introduction :

Un groupe électrogène est un dispositif qui convertit l'énergie mécanique en énergie électrique pour fournir une alimentation en électricité en cas de défaillance du réseau principal ou dans des zones où l'accès à l'électricité est limité ou inexistant. Il est couramment utilisé dans divers secteurs, notamment les industries, les hôpitaux, les événements extérieurs, et les situations d'urgence

III.3.2.Les composants Principaux :

- ***Moteur*** : Source d'énergie mécanique, généralement alimenté par du diesel, de l'essence, du gaz naturel ou du propane.

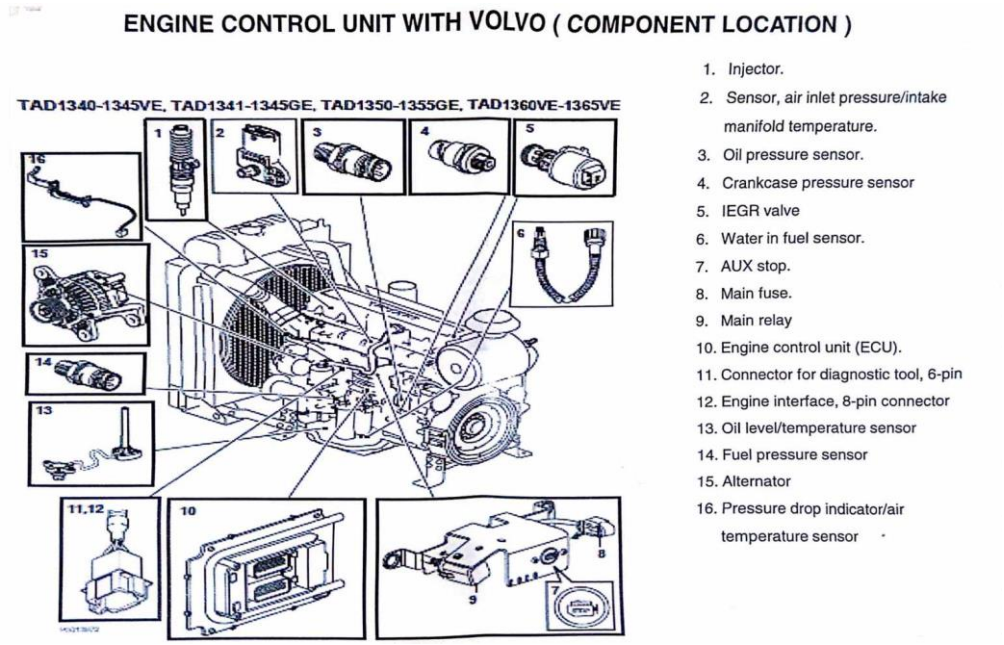

Figure III.1. les composants principaux de moteur **[https://www.visa.it/fr]**

- ***Alternateur*** : Convertit l'énergie mécanique fournie par le moteur en énergie électrique.

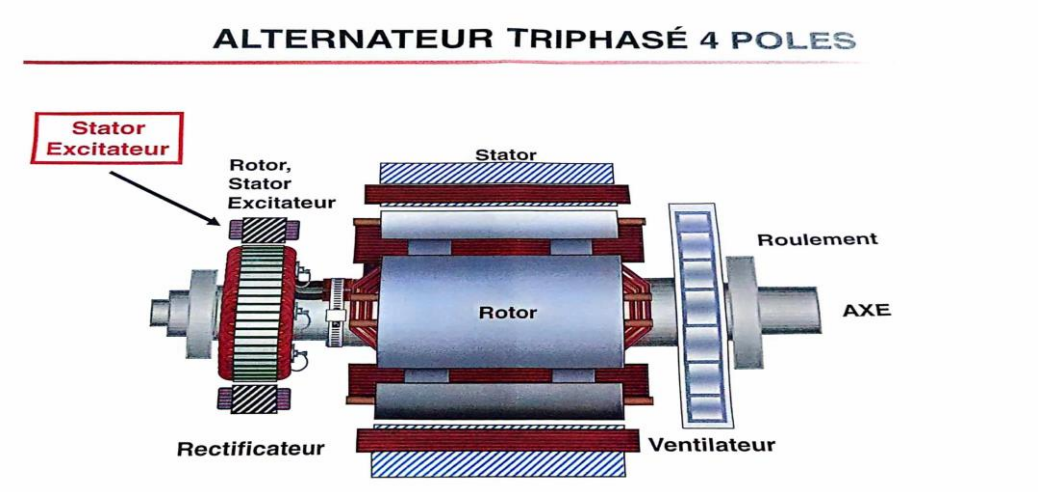

Figure III.2. Alternateur triphasé **[https://www.visa.it/fr]**

- ***Système de Carburant*** : Comprend le réservoir de carburant, les pompes et les filtres nécessaires pour alimenter le moteur.

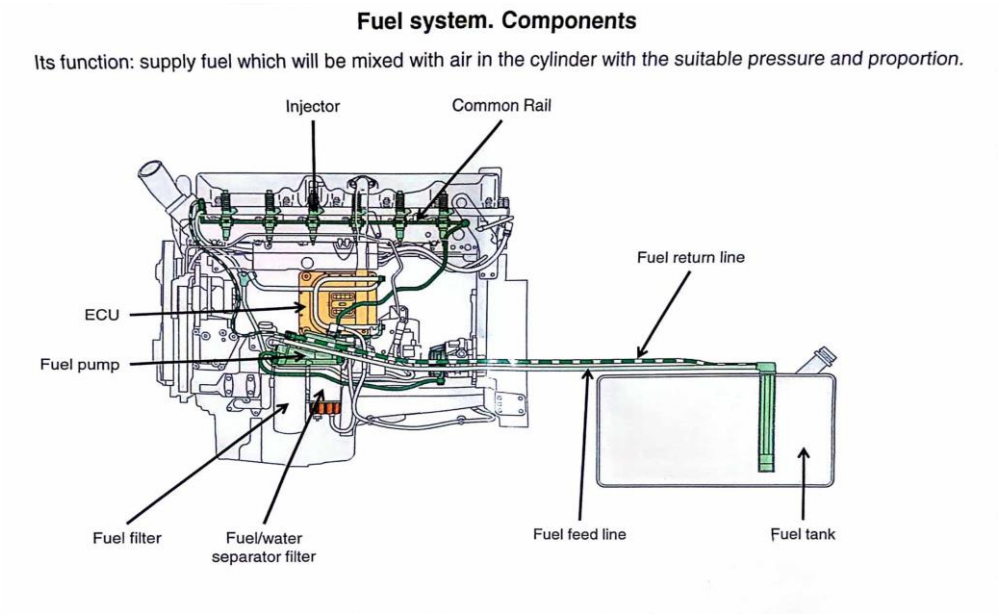

Figure III.3: système de carburant **[https://www.visa.it/fr]**

- ***Système de Refroidissement*** : Maintient la température de fonctionnement du moteur à un niveau optimal.

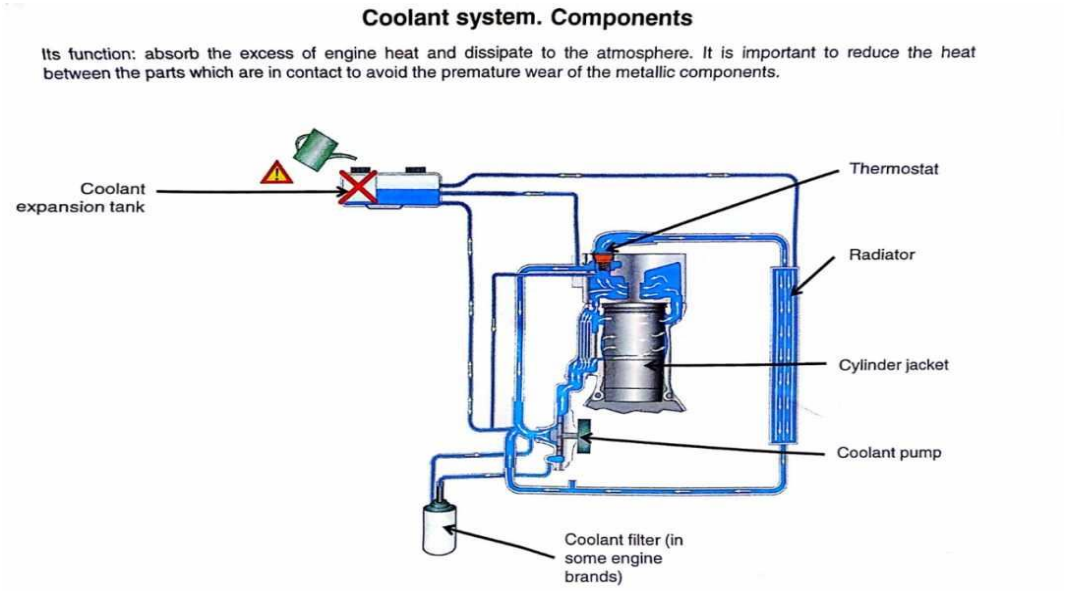

Figure III.4 : système de refroidissement **[https://www.visa.it/fr]**

- ***Système de Lubrification*** : Assure le bon fonctionnement des pièces mobiles du moteur en réduisant la friction et l'usure.

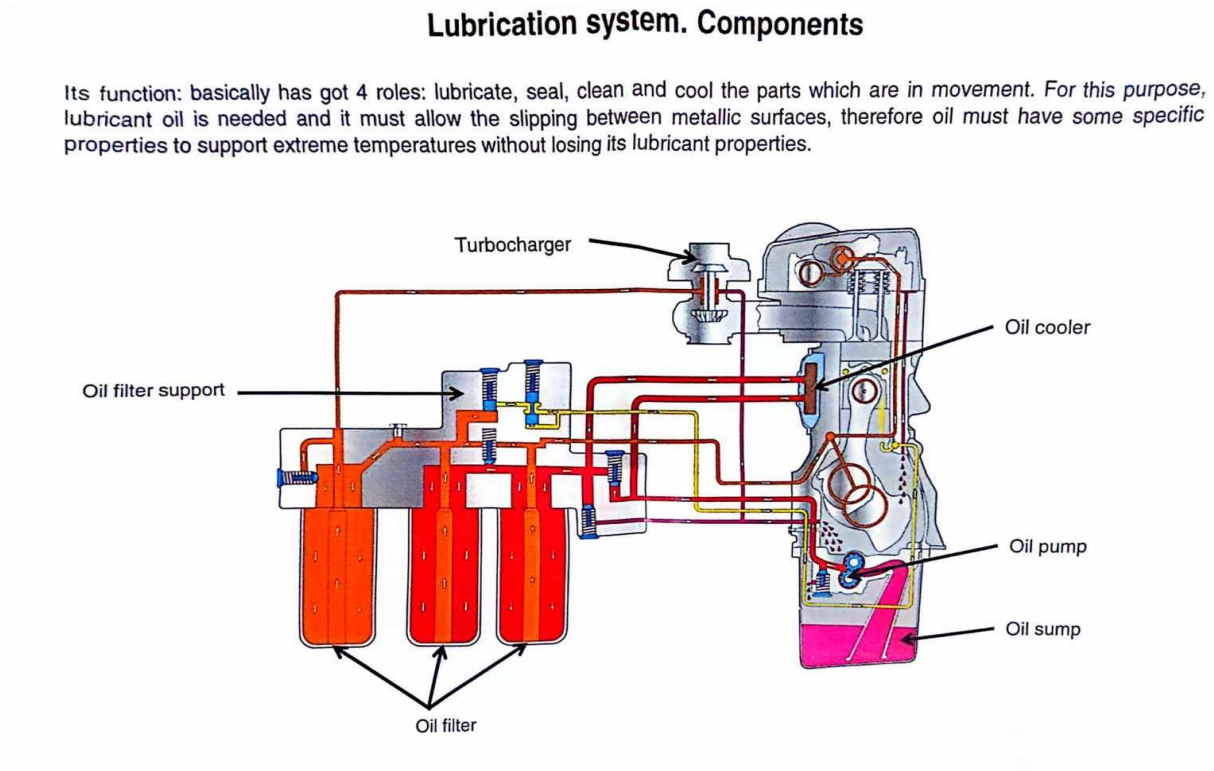

Figure III.5 : Système de Lubrification **[https://www.visa.it/fr]**

- ***Système de Contrôle*** : Permet de démarrer, arrêter et surveiller les paramètres de fonctionnement du groupe électrogène.

Figure III.6. photos présentative de l'entreprise Cosider

Analyse statistique du groupe électrogène

IV.1. Introduction

L'application de la maintenance au sein de l'appareil de production est un exercice difficile, car il est toujours complexe de simplifier dans un environnement complexe. Ce défi est abordé dans le dernier chapitre, où nous exploitons l'historique des pannes du système choisi au sien de la société Cosider pour mener une étude statistique des indicateurs de Fiabilité, Maintenabilité, et Disponibilité (FMD). En analysant ces données, nous traçons les courbes correspondantes à ces trois indicateurs. Cette approche permet de mieux comprendre les comportements et les performances des équipements, afin d'optimiser les paramètres de la sûreté de fonctionnement et d'améliorer la production du système choisi. Nous espérons ainsi proposer des solutions concrètes et efficaces pour une gestion de la maintenance plus proactive et préventive.

IV.2. Choix du système

Après le stage effectué chez Cosider TP (Direction Centrale du Matériel à M'Sila), nous avons choisi le groupe électrogène comme machine sur laquelle nous appliquerons les paramètres de la SDF. Cette sélection s'est faite en raison de l'importance critique des groupes électrogènes dans les opérations de l'entreprise, assurant la continuité de l'alimentation en énergie et la stabilité des processus de production. En appliquant les paramètres de la Sûreté de Fonctionnement (SDF) à ce type de machine, nous visons à améliorer sa fiabilité, sa maintenabilité et sa disponibilité. Notre analyse comprendra une étude détaillée des pannes récurrentes, l'évaluation des cycles de maintenance préventive et corrective, ainsi que l'optimisation des plans de maintenance. Ce travail nous permettra non seulement de renforcer les performances du groupe électrogène mais aussi de fournir des recommandations pratiques pour une gestion plus efficace de la maintenance des équipements critiques chez Cosider TP.

IV.3. Historique des pannes du groupe électrogène choisi

L'historique des pannes du groupe électrogène constitue une base de données essentielle pour notre étude. En analysant cette historique, nous pouvons identifier les types de pannes les plus fréquentes, les causes sous-jacentes de ces défaillances, ainsi que la fréquence et la durée des interruptions.

En particulier, nous examinerons les données sur les pannes mécaniques, électriques et de système de commande, en mettant l'accent sur les conditions d'exploitation au moment des défaillances. Nous analyserons également les actions correctives qui ont été mises en œuvre, leur efficacité et les temps de réparation associés.

Le tableau suivant montre l'historique des pannes du groupe électrogène (voir Tableau IV.1) :

Tableau.IV.1. Historique des pannes du groupe électrogène

Nature de panne	Date de l'apparence de la panne	Date de la remise en service	TTR(heures)	TBF (heures)
Problème au niveau génératrice	19/02/2013	18/07/2013	1192	3128
Bruit sur l'axe du Bielle	05/11/2014	30/12/2014	440	3800
Surchauffe du moteur	15/12/2015	22/12/2015	56	2800
Fuite huile sur le turbo	21/01/2016	01/02/2016	88	240
AVR+Pompe d'alimentation	25/12/2016	16/01/2017	176	2624
Changement du chantier	29/01/2018	30/01/2018	16	3008
-Injecteurs défectueux -Tendeur+ glissière endommagé	08/04/2021	01/06/2021	432	9312
Génératrice Grillée	01/07/2021	08/09/2021	552	240

IV.4. Vérification de la loi de calcul de la fiabilité

IV.4.1. Calcul des paramètres de la loi de Weibull

Les paramètres de la loi de Weibull sont illustrés par le tableau suivant (Tableau IV.3), qui présente les différentes caractéristiques et valeurs associées à cette distribution statistique. La loi de Weibull est couramment utilisée pour modéliser la durée de vie des produits, l'analyse de la fiabilité, et les études de survie. Elle se caractérise par trois principaux paramètres : le paramètre de forme (β), le paramètre d'échelle (η), et le paramètre de position (γ).

Pour extraire les paramètres de la loi de Weibull, il faut tracer la fonction de répartition en fonction des temps de bon fonctionnement en utilisant le logiciel Fiab-Optim. Pour calculer la fonction de répartition théorique, on utilise la méthode des rangs médians, car le nombre de temps entre pannes (TBF) est inférieur à 20.

La méthode des rangs médians est une technique utilisée pour estimer la fonction de répartition d'un ensemble de données empiriques. Cette méthode est particulièrement utile dans l'analyse de survie et de fiabilité pour ajuster les données à une distribution théorique, comme la loi de Weibull. La formule des rangs médians est souvent donnée par :

$$F(i) = (i-0.3)/(N+0.4)$$

Les résultats de calcul sont illustrés par le tableau suivant :

Tableau IV.2. Calcul de fonction de répartition théorique

Rangs	TBF (heures)	F(t) théorique
1	240	0.0833
2	240	0.2024
3	2624	0.3214
4	2800	0.4405
5	3008	0.5595
6	3128	0.6786
7	3800	0.7976
8	9312	0.9167

Par l'application du logiciel de Fiab-Optim qui permet d'analyser les données de fiabilité recueillies sur les équipements. Cela inclut l'examen des temps de bon fonctionnement (TBF) et des temps de réparation (TTR) pour évaluer la performance globale du groupe électrogène.
Les paramètres de la loi de Wiebull sont illustrés par le tableau suivant :

Tableau.IV.3. Paramètres de la loi de Wiebull

Paramètres	**Valeurs**
Beta(ß)	1.3287829
Eta(η)	4611.2356
Gamma(γ)	-799.34358
MTBF	**3441.3755**

La figure suivante montre la présentation de la fonction de répartition en fonction des temps de bon de fonctionnement (figure IV.1). Cette représentation graphique permet de visualiser la probabilité cumulée de défaillance du groupe électrogène à différents intervalles de temps. En analysant cette courbe, nous pouvons mieux comprendre la distribution des défaillances, identifier les périodes critiques de fonctionnement et évaluer la fiabilité globale du groupe électrogène.

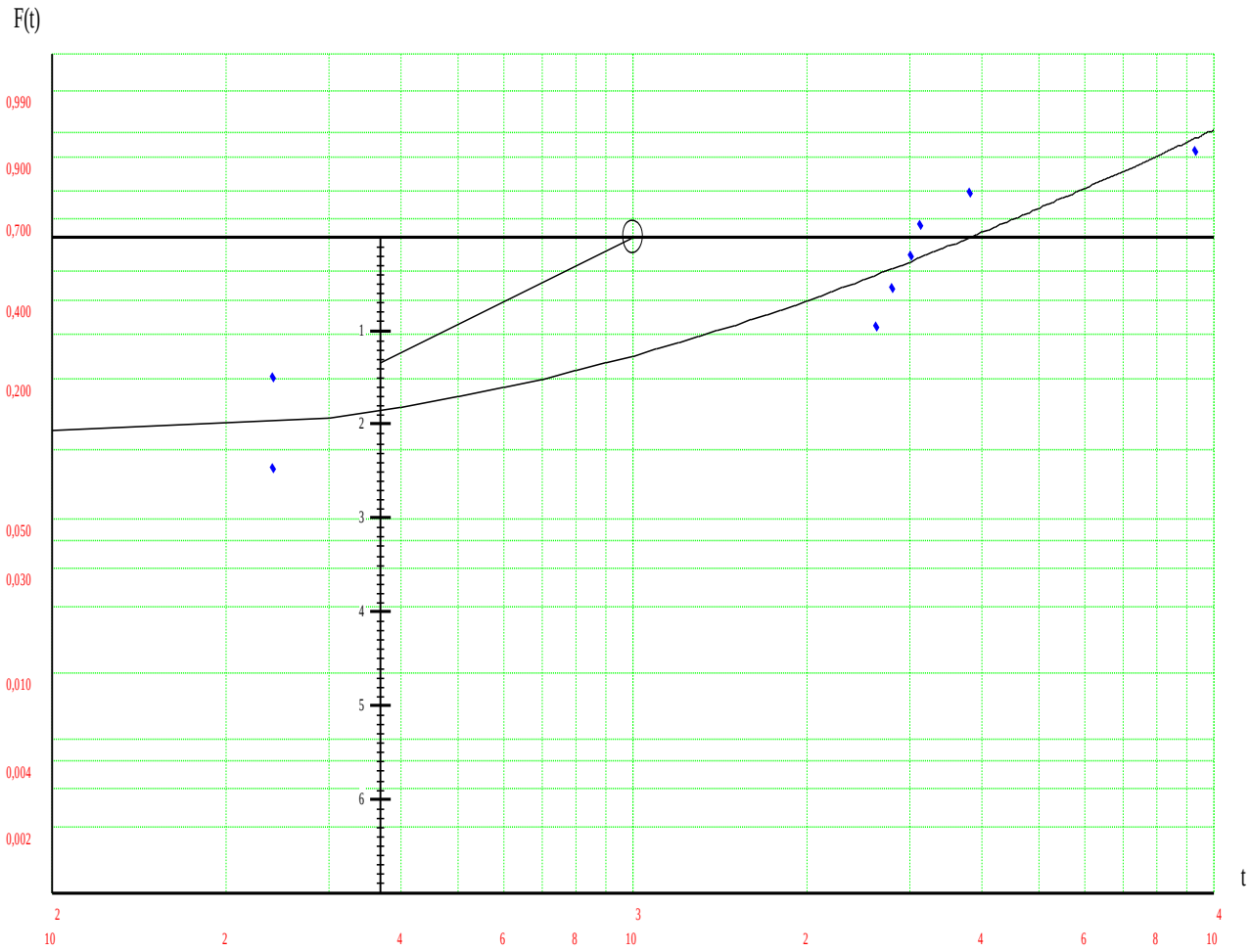

Figure IV.1 Fonction de répartition F(t) en fonction du temps de bon fonctionnement

IV.4.2. Test de Kolmogorov-Smirnov (KS)

Le test de Kolmogorov-Smirnov (KS) est une méthode statistique non paramétrique utilisée pour comparer une distribution empirique avec une distribution théorique ou pour comparer deux distributions empiriques. Ce test est particulièrement utile pour déterminer si un ensemble de données suit une distribution spécifique ou pour vérifier si deux ensembles de données proviennent de la même distribution.

Il est nécessaire de tester l'hypothèse afin de déterminer si nous devons accepter ou rejeter le modèle proposé en utilisant le test de Kolmogorov-Smirnov (K-S) avec un seuil de confiance de $\alpha = 5\%$. Ce test consiste à calculer l'écart entre la fonction théorique F(i) et la fonction empirique F(t), puis à prendre le maximum en valeur absolue, noté $D_{n.max}$. Cette valeur est ensuite comparée à $D_{n.\alpha}$, qui est fournie par la table de Kolmogorov-Smirnov.

D'après la table de K-S, si $D_{n.max} < D_{n.\alpha}$, cela signifie que le modèle de Weibull est accepté. Nous avons déterminé la valeur maximale de $D_{n.max}$ comme étant |Fi - Ft|.

- Si $D_{n.max} > D_{n.\alpha}$, nous rejetons l'hypothèse.

- Si $D_{n.max} < D_{n.\alpha}$, nous acceptons l'hypothèse.

Les résultats de calculs sont présentés dans le tableau suivant (Tableau IV.4) :

Tableau IV.4. Test de Kolmogorov-Smirnov (KS)

Rangs	TBF(heures)	F(t) théorique	F(ti) Réelle	Dni
1	240	0.0833	0.129	0.0456
2	240	0.2024	0.129	0.0734
3	2624	0.3214	0.49	**0.1686**
4	2800	0.4405	0.5130	0.0725
5	3008	0.5595	0.5394	0.2001
6	3128	0.6786	0.5542	0.1244
7	3800	0.7976	0.6308	0.1668
8	9312	0.9167	0.9415	0.0248

Le tableau IV.4 indique que Dmax = 0.1686. Selon le tableau de Kolmogorov-Smirnov, Dn,α = D3, 0.05 = 0.455. On constate que Dmax < Dn,α, ce qui signifie que le modèle de Weibull est accepté pour le calcul de la fiabilité, de la maintenabilité et de la disponibilité.

IV.5. Calcul des différentes fonctions par la loi de Wiebull

La loi de Weibull offre un cadre flexible et puissant pour modéliser et analyser les défaillances dans les systèmes techniques. En calculant les différentes fonctions associées à cette distribution, comme la fonction de répartition, la densité de probabilité, le taux de défaillance et la fiabilité, On peut obtenir des insights précieux sur la performance et la durabilité du groupe électrogène, permettant ainsi de prendre des décisions éclairées pour la maintenance préventive et prédictive. Les résultats de calcul sont illustrés par le tableau suivant (Tableau IV.5)

Tableau IV.5 Calculs de la fiabilité, du taux de défaillance et de la densité de probabilité.

TBF (heures)	R(t)	f(t)	**λ** (t)
240	0.8710	0.000154	0.00017655
240	0.8710	0.000154	0.00017655
2624	0.5101	0.0001333	0.00023940
2800	0.487	0.00013	0.00026561
3008	0.4606	0.000125	0.00027056
3128	0.4458	0.000122	0.00027333
3800	0.3691	0.0001063	0.00028790
9312	0.0585	0.000022	0.00037302

Les représentations graphiques de la fiabilité, de la densité de probabilité et du taux de défaillance du groupe électrogène à l'aide des résultats de Tableau IV.5 (voir Figure IV.2, IV.3 et IV.4) jouent un rôle très important dans l'analyse de la distribution de Weibull, permettant une visualisation claire des différents aspects de la performance et de la défaillance de ce groupe. Ces graphiques aident à mieux comprendre et interpréter les résultats des calculs de la loi de Weibull.

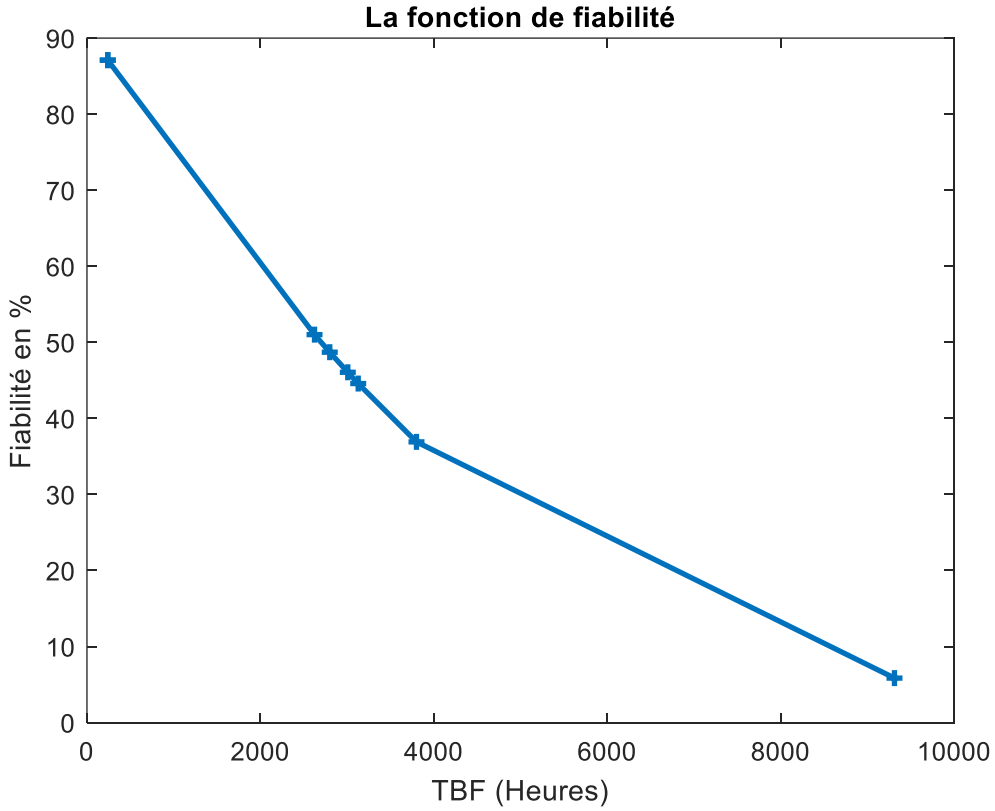

Figure IV.2. La fonction de fiabilité en fonction du temps de bon fonctionnement (TBF)

La Figure IV.2 présente la courbe de fiabilité R(t) en fonction de temps bon fonctionnement, elle montre la probabilité que le groupe électrogène fonctionne sans défaillance jusqu'à un temps t. Elle décroît avec le temps, illustrant la diminution progressive de la probabilité de survie au fur et à mesure que ce groupe vieillit.

La courbe de fiabilité est généralement caractérisée par une décroissance exponentielle, qui peut être modélisée par la loi de Weibull ou d'autres distributions statistiques pertinentes. Pour un groupe électrogène, cette courbe est essentielle pour planifier la maintenance et anticiper les défaillances potentielles.

- **Axe des abscisses (Temps** t**)** : Cet axe représente le temps de bon fonctionnement du groupe électrogène. À l'origine (t=0), l'équipement est neuf ou remis à neuf, et sa probabilité de défaillance est minimale.
- **Axe des ordonnées (Fiabilité** R(t)**)** : Cet axe indique la probabilité que le groupe électrogène fonctionne sans défaillance jusqu'au temps t. Au début de la période d'analyse, R(t) est proche de 1 (ou 100%), ce qui signifie que la probabilité de défaillance est très faible.

La courbe de fiabilité offre plusieurs informations essentielles pour la gestion et la maintenance des équipements :

- **Début de la Courbe** : Lorsque le groupe électrogène est neuf, la fiabilité est maximale. La probabilité de défaillance est très faible, et l'équipement fonctionne de manière optimale.
- **Période de Déclin** : À mesure que le temps passe, la probabilité de défaillance augmente. Cette période est critique pour la planification de la maintenance préventive.
- **Fin de Vie** : Vers la fin de la courbe, la fiabilité diminue rapidement, indiquant une période où les défaillances deviennent fréquentes. À ce stade, des interventions plus fréquentes ou le remplacement de l'équipement peuvent être nécessaires.

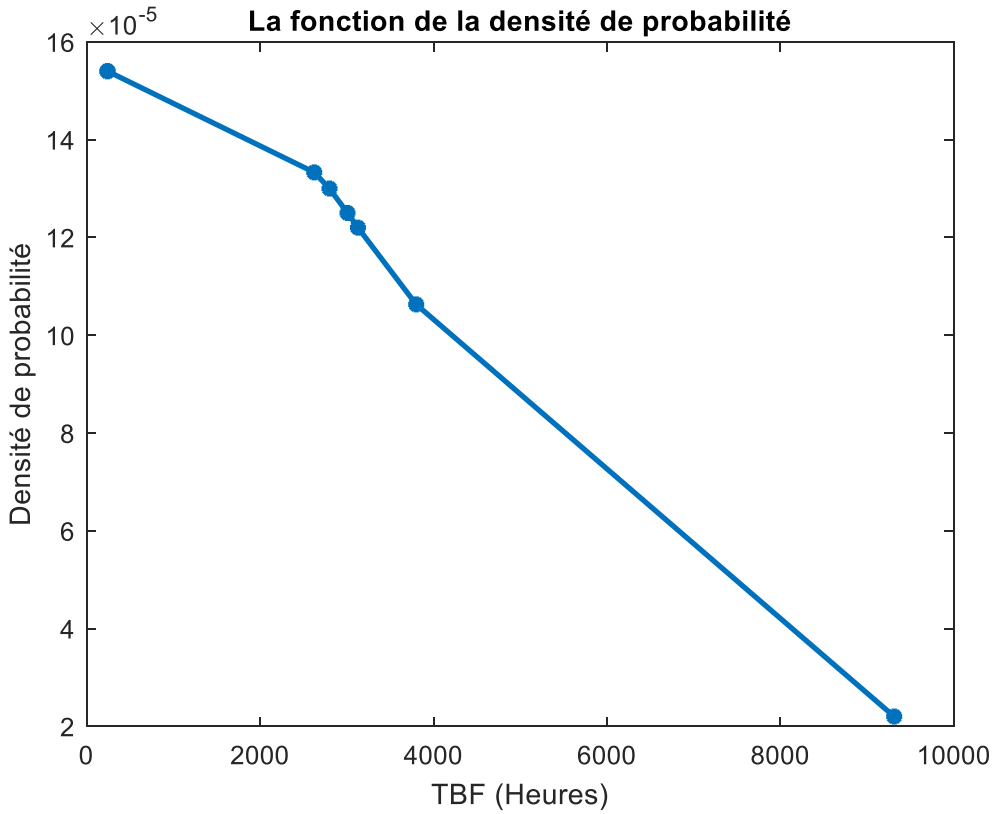

Figure IV.3. Densité de probabilité f(t) en fonction du temps de bon fonctionnement (TBF)

La Figure IV.3 illustre la densité de probabilité f(t) en fonction du temps de bon fonctionnement (TBF). Cette représentation graphique est essentielle pour comprendre la distribution des temps de bon fonctionnement avant qu'une défaillance ne se produise dans le groupe électrogène.

La densité de probabilité f(t) représente la probabilité instantanée de défaillance à un moment donné t. Contrairement à la fonction de fiabilité R(t), qui montre la probabilité de survie jusqu'à un temps t, la densité de probabilité indique la probabilité que la défaillance se produise précisément à ce moment.

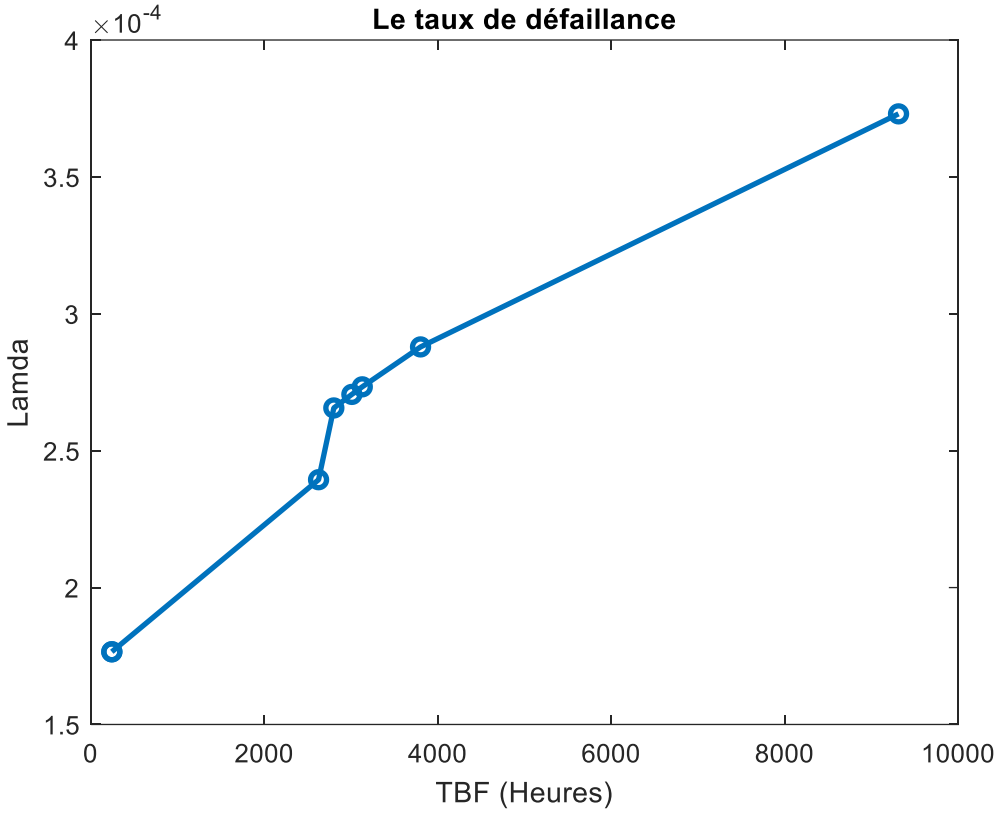

Figure. IV.4. Taux de défaillance en fonction du temps de bon fonctionnement (TBF).

La Figure IV.4 présente le taux de défaillance en fonction du temps de bon fonctionnement (TBF). Cette courbe est cruciale pour comprendre comment la probabilité de défaillance de l'équipement évolue au cours du temps.

Le taux de défaillance est une mesure de la fréquence à laquelle les défaillances se produisent à un instant donné, conditionnée au fait que l'équipement a fonctionné correctement jusqu'à ce moment.

- **Axe des Abscisses (Temps** t**)** : Cet axe représente le temps de bon fonctionnement. Chaque point sur cet axe correspond à un instant précis de la vie opérationnelle de l'équipement.

- **Axe des Ordonnées (Taux de Défaillance $\lambda(t)$)** : Cet axe indique le taux de défaillance à chaque instant t. Les valeurs sur cet axe montrent la fréquence à laquelle les défaillances surviennent au fil du temps.

D'après cette courbe, on observe que le groupe électrogène est dans sa période de vieillissement. Au fil du temps, le taux de défaillance augmente progressivement. Cette phase correspond à la période de vieillissement de l'équipement, où l'usure et la fatigue des matériaux accroissent la probabilité de défaillance.

IV.6. Analyse détaillée de la période de vieillissement

IV.6.1. La fiabilité du groupe électrogène

Pour le groupe électrogène étudié, la courbe de fiabilité permet de déterminer les intervalles optimaux de maintenance et d'identifier les périodes de risque accru de défaillance. En utilisant cette courbe, les gestionnaires de maintenance peuvent :

- Planifier des interventions préventives pour réduire le risque de pannes inattendues.
- Optimiser les coûts de maintenance en évitant les réparations inutiles sur des équipements encore fiables.
- Améliorer la disponibilité et la performance globale du groupe électrogène en anticipant et en gérant les risques de défaillance.

IV.6.2. La densité de probabilité

Pour le groupe électrogène étudié, la courbe de densité de probabilité f(t) est cruciale pour plusieurs raisons :

- ***Identification des Périodes Critiques*** : En repérant les périodes où la densité de probabilité est élevée, les ingénieurs peuvent planifier des interventions de maintenance plus fréquentes ou plus approfondies pour prévenir les défaillances.
- ***Optimisation des Intervalles de Maintenance :*** En comprenant la distribution des défaillances, il est possible d'ajuster les intervalles de maintenance pour maximiser l'efficacité et minimiser les coûts.
- ***Évaluation des Stratégies de Maintenance*** : La forme de la courbe de densité de probabilité peut aider à évaluer l'efficacité des stratégies de maintenance actuelles et à apporter des ajustements pour améliorer la fiabilité et la disponibilité de l'équipement.

IV.6.3. Le taux de défaillance

IV.6.3.1. Observation de l'augmentation du taux de défaillance

À mesure que le temps passe, la courbe montre une tendance à la hausse du taux de défaillance. Ce phénomène est caractéristique de la période de vieillissement du groupe électrogène. Durant cette phase :

- ***Usure des matériaux :*** Les composants du groupe électrogène subissent une usure naturelle due à leur utilisation prolongée. Les pièces mécaniques, en particulier, peuvent se détériorer, entraînant une augmentation des frictions, des vibrations et éventuellement des pannes.
- ***Fatigue des matériaux :*** La fatigue des matériaux est un autre facteur crucial. Les cycles de charge et décharge, ainsi que les variations thermiques, contribuent à la dégradation progressive des propriétés des matériaux. Cela se manifeste par des fissures, des ruptures ou d'autres formes de défaillances structurelles.

IV.6.3.2. Implications pour la Maintenance

La période de vieillissement identifiée par la courbe du taux de défaillance a plusieurs implications importantes pour la gestion de la maintenance du groupe électrogène :

- ***Fréquence Accrue des Inspections :*** Pendant la phase de vieillissement, il est impératif d'augmenter la fréquence des inspections et des contrôles. Une surveillance régulière permet de détecter les signes précurseurs de défaillances et d'intervenir avant qu'elles ne se produisent.
- ***Interventions Préventives :*** La mise en place de stratégies de maintenance préventive est essentielle. Cela peut inclure le remplacement programmé des pièces les plus sujettes à l'usure, l'ajout de lubrifiants spéciaux pour réduire les frictions, ou encore la réalisation de calibrations régulières.
- ***Gestion des Pièces de Rechange*** : Anticiper les besoins en pièces de rechange devient crucial. En connaissant les composants les plus susceptibles de défaillir, il est possible de maintenir un stock approprié de pièces de rechange, minimisant ainsi les temps d'arrêt lors des réparations.

IV.6.3.3. Optimisation de la fiabilité et de la disponibilité

La compréhension de la période de vieillissement permet également d'optimiser la fiabilité et la disponibilité de l'équipement :

- ***Planification des arrêts programmés*** : En planifiant les arrêts pour maintenance de manière stratégique, il est possible de réduire les interruptions imprévues et de maintenir une disponibilité élevée de l'équipement.
- ***Analyse de la criticité des composants*** : Identifier les composants critiques dont la défaillance pourrait entraîner des pannes majeures aide à focaliser les efforts de maintenance sur les éléments les plus impactant.
- ***Amélioration continue :*** Les données recueillies lors des interventions de maintenance peuvent être utilisées pour améliorer continuellement les pratiques de maintenance.

Cela inclut l'ajustement des calendriers d'entretien et l'adoption de nouvelles technologies de diagnostic.

La courbe de taux de défaillance de la Figure IV.4 indique clairement que le groupe électrogène est dans sa période de vieillissement, caractérisée par une augmentation du taux de défaillance. Cette observation nécessite une réponse proactive en termes de maintenance, incluant des inspections plus fréquentes, des interventions préventives ciblées, et une gestion optimisée des pièces de rechange. En adoptant ces mesures, il est possible de prolonger la durée de vie utile du groupe électrogène, d'améliorer sa fiabilité et de garantir une disponibilité optimale, tout en minimisant les risques de pannes imprévues et les coûts associés.

IV.7. Calcul de la fiabilité pour la moyenne des temps de bon fonctionnement (MTBF)

La distribution de Weibull est une distribution statistique très utilisée pour modéliser la fiabilité et le temps de vie des systèmes et composants. Elle est plus flexible que la distribution exponentielle car elle peut représenter différentes formes de courbes de défaillance selon les valeurs de ses paramètres.

Le calcul de la fiabilité à partir du MTBF en utilisant la distribution de Weibull est une méthode avancée et flexible pour évaluer la performance des systèmes. En comprenant la fonction de fiabilité et les paramètres de Weibull, les ingénieurs et les gestionnaires peuvent prendre des décisions informées pour optimiser la maintenance, réduire les temps d'arrêt et améliorer la fiabilité globale des systèmes.

Pour la moyenne des temps de bon fonctionnement MTBF =3441.3557 h, la fiabilité est de :

$$R\,(MTBF) = e^{-\left[\frac{MTBF-\gamma}{\eta}\right]^{\beta}}$$

$$R\,(MTBF) = e^{-\left[\frac{3441.3557-(-799.34358)}{4611.2356}\right]^{1.3287829}} = 0.4087 = 40.87\%$$

La valeur de la fiabilité du groupe électrogène pour la moyenne des temps de bon fonctionnement est réduite, ce qui signifie que ce groupe est dans la phase de vieillissement. Lorsqu'on observe une réduction de la fiabilité pour la moyenne des temps de bon fonctionnement (MTBF), cela indique souvent que le système entre dans une phase de vieillissement.

Les conséquences de la phase de vieillissement du groupe électrogène sont :

- Les groupes électrogènes dans la phase de vieillissement nécessitent des interventions de maintenance plus fréquentes pour prévenir les pannes et prolonger leur durée de vie opérationnelle.
- Besoin accru de maintenance entraîne des coûts plus élevés en termes de pièces de rechange, de main-d'œuvre et de temps d'arrêt.
- La fiabilité réduite augmente le risque de défaillances imprévues, ce qui peut avoir des conséquences graves dans les applications critiques où les groupes électrogènes sont utilisés comme source d'alimentation de secours.
- Une fiabilité réduite et un taux de défaillance croissant sont des indicateurs clés que le groupe électrogène approche de la fin de sa vie utile. Il devient alors nécessaire de planifier le remplacement du système pour éviter des pannes catastrophiques.

La réduction de la fiabilité du groupe électrogène pour la moyenne des temps de bon fonctionnement est un indicateur important que le système entre dans une phase de vieillissement. Cela nécessite une attention accrue en termes de maintenance et de planification pour éviter des défaillances imprévues et optimiser les coûts. En adoptant des stratégies de maintenance préventive et prédictive, et en planifiant soigneusement le remplacement du système, les organisations peuvent gérer efficacement les défis associés à la phase de vieillissement et maintenir la fiabilité opérationnelle de leurs équipements critiques

Pour gérer les impacts de la phase de vieillissement sur un groupe électrogène, plusieurs stratégies peuvent être mises en place :

1- **Maintenance préventive et prédictive** :

- **Préventive** : Effectuer des inspections régulières et remplacer les composants avant qu'ils ne tombent en panne.
- **Prédictive** : Utiliser des technologies de surveillance conditionnelle pour prédire les pannes et intervenir avant qu'elles ne se produisent.

2- **Optimisation de la Maintenance** :

- Adopter une approche basée sur la fiabilité centrée sur la maintenance (RCM) pour déterminer les meilleures pratiques de maintenance.
- Prioriser les interventions sur les composants les plus critiques pour réduire les risques de pannes majeures.

3- **Amélioration de la Conception** :

- Utiliser les données de vieillissement pour améliorer la conception des futurs groupes électrogènes.
- Incorporer des matériaux et technologies plus résistants à l'usure et à la dégradation.

4- **Planification du Remplacement** :

- Établir un calendrier de remplacement basé sur l'analyse de la fiabilité et des coûts de maintenance.
- Prévoir le budget et les ressources nécessaires pour le remplacement afin de minimiser l'impact sur les opérations.

IV.8 La maintenabilité

La maintenabilité est définie comme la probabilité qu'un système ou un équipement puisse être réparé dans un intervalle de temps donné, une fois qu'une panne a été détectée. Elle se mesure souvent par des indicateurs comme le Temps Moyen de Réparation (MTTR) et la courbe de probabilité de réparation. La maintenabilité est une mesure clé dans la gestion des systèmes techniques, représentant la facilité avec laquelle un système peut être maintenu en fonctionnement ou rétabli après une panne. Elle est essentielle pour minimiser les temps d'arrêt et les coûts associés, tout en maximisant l'efficacité opérationnelle.

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

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

La moyenne du temps de réparation exprimée par :

$$MTTR = \Sigma TTR/N$$

TTR : temps de réparation et N : nombre de panne.

MTTR = 369 h

Le taux de réparation est exprimé comme suit :

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = 0.00271002 \text{ Interventions / heure}$$

Pour calculer la maintenabilité à partir de l'historique des pannes, il est essentiel de suivre une méthodologie bien définie. La maintenabilité peut être évaluée en analysant diverses métriques dérivées des données historiques de panne, telles que le temps moyen de réparation (MTTR) et la probabilité de réparation dans un intervalle de temps donné. Les résultats des calculs et des simulations sont présentés dans le tableau IV.6 et la figure IV.5 suivants.

Tableau Error! No text of specified style in document..6. Calcul de la maintenabilité

Rang	TTR	M(t)
1	16	0.0424
2	56	0.1408
3	88	0.2122
4	176	0.3793

5	432	0.6899
6	440	0.6965
7	552	0.776
8	1192	0.9604

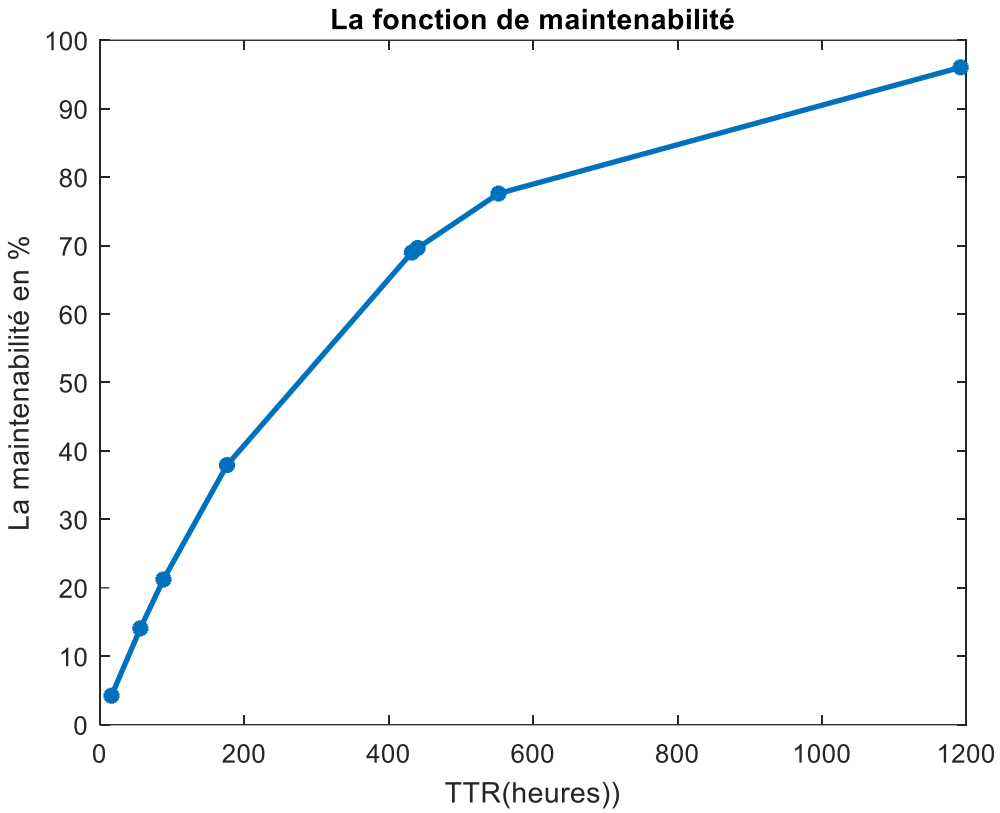

Figure IV.5. Maintenabilité en fonction des temps de réparation (TTR)

La figure IV.5 montre la courbe de la maintenabilité (probabilité de réparation) en fonction du temps. Elle illustre comment la probabilité de réparation augmente avec le temps, suivant une courbe exponentielle.

- Axe des Abscisses (X) représente le temps écoulé depuis la détection de la panne, mesuré en heures. Plus le temps augmente, plus le système a eu l'opportunité d'être réparé.
- Axe des Ordonnées (Y) indique la probabilité cumulative de réparation, allant de 0 à 1 (ou de 0% à 100%). Cette probabilité représente la fraction des réparations réussies dans l'intervalle de temps donné.

La courbe commence à une probabilité proche de zéro immédiatement après la panne, puis monte rapidement au début. Cette montée rapide est caractéristique des distributions exponentielles, qui modélisent des processus de réparation où les temps de réparation sont indépendants et identiquement distribués.

- **Début de la Courbe** : Immédiatement après la panne (temps proche de zéro), la probabilité de réparation est faible car peu de réparations ont eu le temps d'être effectuées.
- **Montée Rapide** : La probabilité de réparation augmente rapidement avec le temps. Cette phase montre l'efficacité initiale des interventions de maintenance. Par exemple, dans les premières heures, les interventions standardisées et bien rodées peuvent rapidement résoudre les pannes les plus courantes.
- **Asymptote** : La courbe tend vers une asymptote horizontale à mesure que le temps augmente. Cette asymptote représente la probabilité maximale de réparation dans un intervalle de temps pratique. En termes simples, après un certain point, la majorité des réparations possibles ont été effectuées, et la probabilité de réparer une panne restante devient presque constante.

IV.9 La disponibilité

La disponibilité est une mesure de la capacité d'un système à être en état de fonctionner lorsque cela est requis. Elle est généralement exprimée en pourcentage et est une fonction de la fiabilité et de la maintenabilité du système. La disponibilité prend en compte à la fois les périodes de bon fonctionnement et les périodes d'indisponibilité dues aux pannes et aux maintenances.

Il existe plusieurs types de la disponibilité et chaque type exprimé par une formule de calcul, dans la suite, on exposera les types de disponibilité.

IV.9.1. La disponibilité intrinsèque théorique

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

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

On a : MTBF= 3441.3557h et MTTR = 369h alors :

D=0.90315864

IV.9.2. La disponibilité instantanée :

La disponibilité instantanée exprimée en fonction du taux de défaillance et du taux de réparation, elle est donnée par la relation suivante :

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

On a:$MTBF = \frac{1}{\lambda} \Longrightarrow \lambda = \frac{1}{MTBF} =$ 0.00029058

Et $MTTR = \frac{1}{\mu} \Longrightarrow \mu = \frac{1}{MTTR}$ =0.00227100

μ+ʎ=0.0030006

Le tableau suivant présente la disponibilité pour les temps de bon fonctionnement :

Tableau IV.7. Calculs de la disponibilité instantanée

Rang	TTR (heures)	D(t)
1	16	0.8491
2	56	0.8387
3	88	0.8313
4	176	0.814
5	432	0.7833
6	440	0.7827
7	552	0.7753
8	1192	0.7596

La représentation graphique de la disponsibilité instantanée est illstrée par la figure suivante (Figure IV.6) :

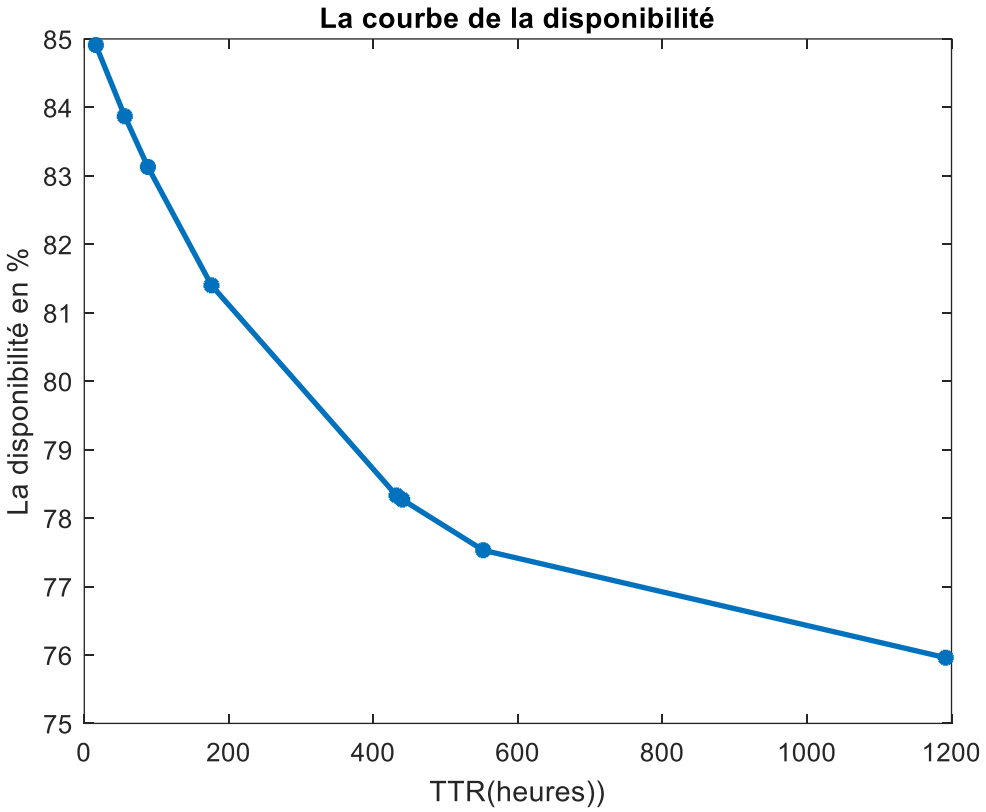

Figure IV.6. Disponibilité instantanée en fonction des temps de réparation (TTR)

La figure IV.6 montre clairement que la disponibilité instantanée diminue avec l'augmentation du temps de réparation. Cela met en évidence l'importance de minimiser le MTTR pour maintenir une haute disponibilité du groupe électrogène. En adoptant des stratégies efficaces de maintenance, de gestion des ressources et de conception du système, les organisations peuvent optimiser la disponibilité de leurs équipements et assurer une opération continue et fiable.

IV.10. Optimisation de la sûreté de fonctionnement du groupe électrogène

La sûreté de fonctionnement est une mesure essentielle pour garantir que les groupes électrogènes fonctionnent de manière fiable, disponible et maintenable tout en minimisant les risques de défaillance. L'optimisation de cette sûreté passe par plusieurs axes, incluant la fiabilité, la maintenabilité, la disponibilité et la sécurité du système. On peut donner un détail pour optimiser la sûreté de fonctionnement d'un groupe électrogène.

IV.10. 1. Amélioration de la Fiabilité

La fiabilité est la capacité d'un groupe électrogène à fonctionner sans défaillance pendant une période donnée. Pour améliorer la fiabilité, plusieurs stratégies peuvent être mises en œuvre :

- Utiliser des composants de haute qualité et robustes pour résister aux conditions d'exploitation.
- Incorporer des systèmes redondants pour prendre le relais en cas de défaillance de certains composants.
- Effectuer une analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité pour identifier et atténuer les points faibles du système.
- Soumettre le groupe électrogène à des essais rigoureux pour vérifier ses performances et identifier les problèmes potentiels avant leur mise en service.

IV.10.2. Amélioration de la Maintenabilité

La maintenabilité est la capacité de réparer un groupe électrogène rapidement et efficacement. Des stratégies pour améliorer la maintenabilité incluent :

- Concevoir le groupe électrogène de manière à faciliter l'accès aux composants pour les inspections et les réparations.
- Former le personnel de maintenance pour qu'il soit compétent dans l'entretien et la réparation du groupe électrogène.
- Fournir une documentation détaillée et des manuels de réparation pour guider les techniciens dans leurs interventions.
- Assurer la disponibilité des pièces de rechange critiques pour réduire les délais de réparation.

IV.10.3. Augmentation de la disponibilité

La disponibilité est la capacité du groupe électrogène à être opérationnel lorsqu'il est requis. Elle dépend de la fiabilité et de la maintenabilité. Pour augmenter la disponibilité :

- Planifier et exécuter des interventions de maintenance régulières pour prévenir les pannes avant qu'elles ne surviennent.
- Utiliser des technologies de surveillance conditionnelle et d'analyse pour anticiper et prévenir les défaillances potentielles.
- Déterminer et optimiser les intervalles de maintenance pour équilibrer le temps de fonctionnement et le temps de maintenance.
- Réduire les temps de réparation en améliorant l'efficacité des procédures de maintenance et en formant le personnel.

IV.10.4. Amélioration de la Sécurité

La sécurité est la capacité du groupe électrogène à fonctionner sans causer de danger pour les opérateurs ou l'environnement. Pour améliorer la sécurité :

- Réaliser des évaluations des risques pour identifier et atténuer les dangers potentiels liés au fonctionnement du groupe électrogène.
- Installer des dispositifs de sécurité tels que des coupures d'urgence, des détecteurs de gaz, et des systèmes de protection contre les surtensions.
- Établir et suivre des procédures de sécurité strictes pour l'exploitation et la maintenance du groupe électrogène.
- Former les opérateurs et les techniciens sur les meilleures pratiques en matière de sécurité et les procédures d'urgence.

IV.10.5. Surveillance et Diagnostic

La surveillance continue et le diagnostic sont essentiels pour détecter les problèmes à un stade précoce et intervenir rapidement :

- Utiliser des systèmes de surveillance en temps réel pour suivre les paramètres critiques du groupe électrogène, tels que la température, la pression et les vibrations.
- Mettre en place des systèmes de diagnostic pour identifier les pannes potentielles et fournir des alertes précoces.
- Analyser les données collectées pour identifier les tendances et les anomalies qui pourraient indiquer un problème imminent.

IV.10.6. Gestion de la Maintenance

Une gestion efficace de la maintenance est importante pour optimiser la sûreté de fonctionnement :

- Planification de la maintenance : Utiliser des logiciels de gestion de la maintenance assistée par ordinateur (GMAO) pour planifier, suivre et gérer les activités de maintenance.
- Gestion des stocks : Assurer une gestion efficace des stocks de pièces de rechange pour garantir la disponibilité des pièces nécessaires.
- Analyse des Performances : Évaluer régulièrement les performances de maintenance et ajuster les stratégies en fonction des résultats obtenus.

IV.11. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons procédé à une analyse approfondie de l'historique des pannes du groupe électrogène afin de calculer ses temps de bon fonctionnement en se basant sur les

données enregistrées des temps de panne. Pour évaluer la fiabilité de ce système, nous avons utilisé le logiciel Fiab-Optim pour tracer la fonction de répartition en fonction des temps de bon fonctionnement et pour extraire les paramètres de la loi de Weibull. Ces paramètres nous ont permis d'estimer la fonction de répartition réelle, ce qui nous a ensuite conduit à appliquer le test de validation Kolmogorov-Smirnov. Les résultats de ce test ont confirmé que la loi de Weibull est appropriée pour calculer la fiabilité, la densité de probabilité et le taux de défaillance du système étudié. À la lumière de ces résultats, nous avons observé une diminution de la fiabilité du groupe électrogène.

Pour optimiser la sûreté de fonctionnement d'un groupe électrogène de manière efficace, il est essentiel d'adopter une approche intégrée qui adresse la fiabilité, la maintenabilité, la disponibilité et la sécurité. En mettant en place des stratégies robustes dans ces différents domaines, les organisations peuvent assurer un fonctionnement fiable des groupes électrogènes, réduisant ainsi les interruptions et les risques de défaillance.

Conclusion générale

Dans notre mémoire, nous avons abordé en détail les aspects fondamentaux de la maintenance des systèmes électromécaniques, en couvrant divers types, opérations et niveaux de maintenance, tout en intégrant la description des paramètres de la sûreté de fonctionnement.

Nous avons mené une analyse détaillée de l'historique des pannes du groupe électrogène, en utilisant les données enregistrées des temps de panne pour calculer ses temps de bon fonctionnement. L'objectif principal était d'évaluer la fiabilité du système à travers une méthodologie rigoureuse.

Pour atteindre cet objectif, nous avons utilisé le logiciel Fiab-Optim afin de modéliser la fonction de répartition basée sur les temps de bon fonctionnement observés. En ajustant les données aux paramètres de la loi de Weibull, nous avons pu estimer la fonction de répartition réelle du groupe électrogène. Cette approche nous a également permis d'appliquer le test de validation Kolmogorov-Smirnov pour vérifier l'adéquation de la loi de Weibull pour ce système spécifique.

Les résultats obtenus du test de Kolmogorov-Smirnov ont validé l'utilisation appropriée de la loi de Weibull pour calculer la fiabilité, la densité de probabilité et le taux de défaillance du groupe électrogène. Ces résultats ont révélé une tendance vers une diminution de la fiabilité du système au fil du temps, mettant en lumière des aspects critiques nécessitant une attention particulière en termes de maintenance et d'améliorations.

L'optimisation de la sûreté de fonctionnement d'un groupe électrogène nécessite une approche holistique qui englobe la fiabilité, la maintenabilité, la disponibilité et la sécurité. En mettant en œuvre des stratégies robustes dans chacun de ces domaines, les organisations peuvent garantir que leurs groupes électrogènes fonctionnent de manière fiable, minimisant les temps d'arrêt et les risques de défaillance. Une surveillance continue, une maintenance proactive et une gestion efficace des ressources sont des éléments clés pour atteindre ces objectifs.

Dans ce contexte, envisager les perspectives futures pour le groupe électrogène étudié implique plusieurs axes de réflexion et d'action :

1. Intensifier les efforts pour mettre en œuvre une maintenance préventive proactive basée sur les données historiques des pannes. Cela pourrait inclure l'identification des modes de défaillance critiques et l'ajustement des intervalles de maintenance en conséquence.
2. Étudier la pertinence et l'efficacité des systèmes redondants pour assurer la continuité de l'alimentation en cas de défaillance. Renforcer la robustesse des composants critiques pourrait également améliorer la fiabilité globale du système.

3. Explorer et intégrer de nouvelles technologies telles que l'Internet des objets (IoT) et l'intelligence artificielle (IA) pour une gestion proactive des actifs et une maintenance prédictive plus efficace.

Références bibliographiques

- A –

ARP-4754, (1996). « Certification considerations for highly-integrated or complex aircraft systems ». Society of Automotive Engineers (SAE) standard, November 1996.

- B –

[BOL15] Boucerredj L., (2015). «Sûreté de Fonctionnement : Recherche des Scénarios Critiques dans les Systèmes Mécatroniques». Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie.

Belhadaoui H., (2011). « Conception sûre des systèmes mécatroniques intelligents pour des applications critiques ». Thèse de Doctorat. Institut National Polytechnique de Lorraine.

Bouche, & Plauchu, (1990) A contribution to the specification and the development of an oriented knowledge platform for maintenance

- C –

CEI 50 191. (1990). « Vocabulaire Electrotechnique International ». Sûreté de fonctionnement et qualité des services, Chapitre 191

CEI-61508, (2010). « Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems ». International Electrotechnical Commission standard.

Chandler A.D.J., Stratégie et structures de l'entreprise, Paris, Editions d'organisation, (1989)

- E –

Estelle Deloux (2008) politiques de maintenance conditionnelle pour un systeme a degradation continue soumis a un environnement stressant

-F-

François Monchy &Jean Pierre Vernier(2003) , Maintenance Méthode Et Organisation p-243.

- G -

Gabriel Antonio Pérez Castañeda Julien Marzat Nicolae Brinzei Jean-François Aubry (2008)Simulation de Monte-Carlo pour la fiabilité dynamique prenant en compte le vieillissement des composants

- H -

Hercberg S.. 2006. Table de composition des aliments SU-VI-MAX.. Réalisé à l'Unité 557 Inserm (UMR Inserm/Inra/Cnam). au CRNH Ile-de-France. Paris 13/bobigny et à l'Unité de surveillance et d'Epidémiologie nutritionnelle (InVS/Cnam/Paris 13) dirigés par Serge Hercberg. Edition economica.

- J –

J. Gandibleux, « Contribution à l'évaluation de sûreté de fonctionnement des architectures de surveillance/diagnostic embarquées. Application au transport ferroviaire », phdthesis, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambresis, 2013.

J.-C. Laprie, « Dependable Computing: Concepts, Limits, Challenges », the 25th IEEE International Symposium on Fault-Tolerant Computing, Pasadena, California, USA, 27-juin1995.

- K -

Kaâniche Mohamed, (1999) Evaluation de la sûreté de fonctionnement informatique. Fautes physiques, fautes de conception, malveillances

Kharouati Aicha (2021) Contribution à l'étude de la sûreté de fonctionnement des systèmes instrumentés intelligentsPrésentée En Vue de L'obtention du Diplôme De Doctorat 3èmeCycle

- L –

Laprie J.C., (2004). « Sûreté de fonctionnement informatique : concepts, défis, directions ». ACI

Sécurité et Informatique, CNRS, LAAS, Toulouse, 15 – 17 novembre.

- M –

Matthieu Desinde(2006),Contribution à la mise au point d'une approche intégrée analyse diagnostique / analyse de risques

Mkhida A., Thiriet J.M., Aubry J F., (2014). « Integration of intelligent sensors in Safety Instrumented Systems (SIS) ». Process Safety and Environmental Protection (92): 142–149. http://dx.doi.org/10.1016/j.psep.2013.01.001.

- N –

Norme NF EN 292 – 1, (1991). Sécurité de machines – Notions fondamentales, principes, généraux de conception – Partie 1: Terminologie de base – Méthodologie

Norme NF EN 13306 –X-60-319-(2001)Terminologie de la maintenance ,Paris :AFNOR

Norme NF 60-000(2002)., F. X. Maintenance industrielle - fonction maintenance. Norme AFNOR

- P –

Pagetti C., (2012). « Module de sûreté de fonctionnement ». 3 ième TR - option SE, 10 décembre 2012.

Pascal Vrignat(2010)Génération d'indicateurs de maintenance par une approche semi-paramétrique et par une approche markovienne

Perez-Castaneda G-A., (2009). « Evaluation par simulation de la sûreté de fonctionnement de systèmes en contexte dynamique hybride ». Thèse de Doctorat. Institut National Polytechnique de Lorraine.

- R –

Rausand M. and Hoyland A., System Reliability Theory-Models, Statistical Methods, and Applications, Wiley, second edition, 2004.

R. Sarker, A. Haque, (2000) Optimisation of maintenance and spare provisioning policy using simulation, Applied Mathematical Modelling 24751-760.

Romain B., (2009). « Analyses de sûreté de fonctionnement multi-systèmes ». Thèse de doctorat, Université Sciences et Technologies - Bordeaux I

-S-

Sylvie L., (2004). « Etudes de sûreté des installations électriques ». Cahier Technique Schneider Electric, n°184

-T-

Tarondeau J.C. , Lorino P., « De la stratégie aux processus stratégiques », Revue Française de la gestion, n°117, (1998), pp. 5-17.

Thiétart R.A., Martinet A.C., Posture paradigmatique et recherche en management stratégique, Vuibert, (2001.)

-V-

Villemeur A., (1988). « Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels ». Edition Eyrolles

Webographie

https://www.tribofilm.fr/les-differents-types-de-maintenance.

https://elt.univ-batna2.dz/ Chapitre 1. Politique et organisation de la maintenance /Dr Salma Drid

https://hal.science/ **Fatima Ezzahra Mdarbi**, Nadia Afifi, Imane Hilal .Sûreté de Fonctionnement des Big Data. Opportunities and Challenges .

https://www.cosider-groupe.dz/fr/cosider-travaux-publics

https://www.tribofilm.fr/ les différentes stratégie de la maintenance

http://elearning.univ-biskra.dz/Principe de la maintenance conditionnelle

https://www.OnisVisa.it.fr/