



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

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

Département de Maintenance en Instrumentation

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie Industriel

Spécialité : Ingénierie de la maintenance en instrumentation

Thème

**Étude de la maintenance basée sur la fiabilité
d'un équipement industriel
(La turbine a gaz GT13E2).**

Présenté et soutenu publiquement par :

BEKHADDA Saadia

et

CHERIET Badra

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
TERFAYA Anis	MCB	IMSI	Président
ARBI Maachia	MCB	IMSI	Encadreur
MAWLOUD Titah	MCB	IMSI	Examineur

Année 2024/2025

Remerciement

Tout d'abord, nous remercions Dieu tout -puissant

Qui nous a donné

La force, le courage et la volonté

D'atteindre tous nos objectifs, et tous les enseignants qui ont

Contribué à notre composition dans tous les cycles.

Nous tenons à remercier avec une gratitude particulière

A Notre encadrant : **Mme ARBI MAACHIA**

Qui nous a guidés, encouragés et soutenus tout au long de notre travail.

Nous tenons également à remercier les membres

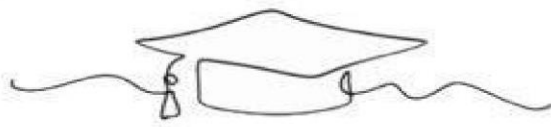
du jury de nous avoir fait

L'honneur d'avoir accepté dévaluer notre travail.

Nos remerciements s'adressent aussi, à tous les travailleurs de « S.P.E » qui ont facilité notre stage et contribué à la réalisation de ce travail. Enfin, nous remercions tous ceux qui

ont contribué, de près ou de loin, à l'accomplissement de notre travail





Dédicace

Je dédie ce travail

À mes parents bien-aimés

*à mes merveilleux parents votre amour et votre soutien m'ont façonné et m'accompagnent
chaque jour .chaque souvenir partagé des rires au défis surmontés ensemble.*

*Papa la lumière de mes jours .vos sacrifices et votre tendresse
sont les pierres sur les quelles j'ai bâti mes rêves .*

*Mama ma premier professeurs, ma plus supporteurs ,ma héros du quotidien.
chaque étape de ma vie, chaque accomplissement, et le reflet de vos valeurs et de vos rêves
pour moi .Ce que je réalise.*

*Je vous le dois, et je vous remercie, de tout cœur et pour vos sacrifices inlassables et pour
avoir toujours cru en moi .je vous aime.*

*À ma deuxième mère et père Kheira et Ahmed merci pour être à mes côtés
je te souhaite une longue vie.*

À ma grand-mère Saadia je te souhaite un bon rétablissement et une longue vie.

*À mes sœurs Aya Amina Feiza Mokhtaria , je vous remercie de m'avoir
Soutenu au fil des années.*

À mes frères Hamza Mokhtar Kada Abdelkader je vous remercie.

À mon amie Walid Nos remerciements pour nous a guidés .

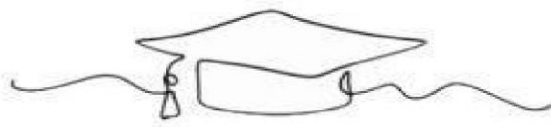
c'était un plaisir de vous rencontrer.

À mes plus proches amis Mohamed Rania Nerimene

*À tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin
durant les moments difficiles.*

BEKHEDDA SAADIA





Dédicace

J'ai toujours souhaité exprimer ma gratitude envers mes parents pour tout ce qu'ils ont fait afin de me voir réussir. Aujourd'hui, l'occasion se présente enfin.

Je dédie ce travail :

À mes parents bien-aimés, pour leur soutien moral et financier.

À mon père, dont je porte fièrement le nom :

merci pour tout ce que tu m'as transmis.

À ma mère, dont les prières ont accompagné chacun de mes pas, dont l'amour inconditionnel, le soutien indéfectible et les encouragements constants ont été la clé de ma réussite.

Tu as toujours cru en moi, et c'est en grande partie grâce à toi que ce mémoire a vu le jour. Merci pour tout ce que tu as fait et continues de faire.

Ce mémoire t'appartient autant qu'à moi.

Je souhaite également dédier ce travail :

À mes sœurs, Fatima, Oumaima et Amel —

je vous souhaite tout le bonheur et la réussite possibles.

À mes lus proches amis Ali ,RAWNAK ,MERIEM

À toutes les personnes qui, de près ou de loin,

m'ont soutenu(e) durant

les moments difficiles.

CHERIET BADRA



Sommaire

Chapitre I :	3
Généralité sur la maintenance	3
1 Introduction :	4
1.1 Historiques de la maintenance :	4
1.2 Définition de la maintenance :	5
1.3 Le rôle de la maintenance :	5
1.4 Objectifs de la maintenance :	6
1.5 Stratégie de maintenance :	7
1.6 Les niveaux de maintenance :	7
1.7 Concepts de Maintenance:	9
1.8 Classification des types de maintenance :	10
1.8.1 Maintenance corrective :	10
1.8.2 Maintenance préventive :	11
1.9 Conclusion :	14
Chapitre II :	15
Les lois de la fiabilité	15
2 Introduction :	16
2.1 Historique de la MBF :	16
2.2 Définition de la MBF :	17
2.3 Objectifs de la MBF :	17
2.4 Les principes de MBF :	18
2.5 Fiabilité :	18
2.5.1 Définition de la fiabilité :	18
2.5.2 Objectifs de la Fiabilité :	19
2.5.3 Les différents types de Fiabilité :	19
2.5.4 Fonction de Fiabilité $R(t)$:	19
2.5.5 Fonction de réparation de fiabilité $f(t)$:	20
2.5.6 Densité de probabilité :	20
2.6 Défaillance :	20
2.6.1 Définition de défaillance :	20
2.6.2 Différents types de défaillances :	21
2.6.3 Classification des défaillances :	21

2.6.3.1	Classification selon la rapidité d'apparition :	21
2.6.4	Taux de défaillance :	22
2.7	Indicateur de maintenance :	23
2.8	Les lois de Fiabilité :	24
2.8.1	La Loi de Pareto : (méthode ABC)	24
2.8.2	La Loi de Weibull :	26
2.8.3	La Loi exponentielle :	28
2.9	Conclusion :	29
Chapitre III :		30
La Turbine à Gaz gt13e2		30
3	Introduction :	31
3.1	La centrale électrique de l'unité (SPE) :	31
3.1.1	Présentation de l'entreprise :	31
3.1.2	Localisation géographique :	32
3.1.3	Caractéristiques de centrale :	33
3.1.4	Les équipements de centrale :	33
3.1.5	Poste de Gaz :	34
3.1.6	Système électrique :	34
3.1.7	Système mécanique commun :	35
3.1.8	Système de tuyauterie :	35
3.1.9	Station fuel (secours) :	35
3.1.10	Station d'air comprimé :	36
3.1.11	Organigramme de la société :	36
3.2	Les Turbines :	37
3.2.1	Généralités sur les turbines :	37
3.2.2	Classification des Turbine à Gaz :	37
3.2.3	Avantages et inconvénients des Turbines à Gaz :	39
3.3	La Turbine à GAZ Gt13 e2 :	40
3.3.1	Définition de la TG :	40
3.3.2	Les composants principaux d'installation de la TG :	40
3.3.3	Description du fonctionnement :	42
3.3.4	Processus de base de la turbine à gaz :	44
3.3.5	Arrangement et équipement typique de SPE :	46
3.3.6	Caractéristiques techniques :	47

3.4	Les pannes possibles :.....	48
3.5	Conclusion :.....	50
Chapitre IV :.....		51
Analyse de la fiabilité de TAG gt13e2		51
4	Introduction :.....	52
4.1	Etude de la fiabilité de la turbine à GAZ gt13e2 :.....	52
4.2	Calcul temps de bon fonctionnement :	55
4.2.1	Classement de TBF calcul F (ti) :.....	56
4.3	Estimation des paramètres de la loi Weibull (η , β , γ) :.....	56
4.3.1	Présentation générale de Minitab :	56
4.3.2	L'environnement de Minitab :	57
4.3.3	Examen de la feuille de travail :	58
4.3.4	Représentation graphique des données :.....	59
4.4	Étude de la loi de Weibull :.....	61
4.5	Calcul la fiabilité de la TG Gt13 e2 :.....	64
4.5.1	Calcul de R(t), F(t), $\lambda(t)$:.....	65
4.5.2	La fonction de répartition F(t) :	66
4.5.3	Taux de défaillance :.....	67
4.6	Test de Kolmogorov-Smirnov :	68
4.6.1	Etude de Maintenabilité :.....	70
4.6.2	Etude de disponibilité instantanée :	71
4.7	Conclusion :.....	72
Référence :.....		74

Liste des Figures

Figure 1. Classification des types de la maintenance	10
Figure 2. Maintenance préventive conditionnelle.....	13
Figure 3. Maintenance systématique réalisée à intervalles constants	13
Figure 4. Fonction de réparation.....	20
Figure 5. taux de défaillance $\lambda(t)$ en fonction d λ e temps.....	22
Figure 6. diagramme de temps moyens	23
Figure 7. diagramme de Pareto	25
Figure 8. Différent forme de $R(t)$	27
Figure 9. principales propriétés de la distribution exponentielle.....	28
Figure 10. Centrale électrique à cycle combiné RELIZANE	32
Figure 11. La géographie de centrale RELIZANE	32
Figure 12. Schéma du bloc auxiliaire dans la salle de contrôle.....	34
Figure 13. Transformateur principale	35
Figure 14. L'organisation de l'unité de production d'électricité TG Relizane.....	36
Figure 15. Classification des turbines.....	37
Figure 16. Schéma d'une turbine à gaz mono-arbre.....	38
Figure 17. Schéma d'une turbine à gaz deux arbre	39
Figure 18. principaux composants d'une installation à turbine à gaz.....	41
Figure 19. Systèmes auxiliaires (S)	42
Figure 20. fonctionnement de turbine à gaz	43
Figure 21. Transformateurs Auxiliaire et de Démarrage	44
Figure 22. Arrangement standard typique d'une turbine à gaz	47
Figure 23. Environnement de Minitab.....	58
Figure 24. Examen d'une feuille de travail	59
Figure 25. Représentation graphiques des données	60
Figure 26. Feuille de travail.....	61
Figure 27. Analyse de réparation.....	62
Figure 28. Papier de Weibull en logiciel Minitab	63
Figure 29. Estimation des données	64
Figure 30. La Courbe De la Fonction Fiabilité.....	65

Figure 30. La Courbe De la Fonction Fiabil.....	65
Figure 31. La Courbe De Fonction Répartition	66
Figure 32. Le courbe taux de défaillance.....	67
Figure 33. La Courbe de la densité.....	68
Figure 34. La courbe de Maintenabilité.....	70
Figure 35. La courbe de la disponibilité	71

Liste des Tableaux

Table 1. Les niveaux de maintenance	9
Table 2. Les pannes possibles de la turbine à gaz gt13e2	50
Table 3. Historique des pannes de TAG gt13e2	55
Table 4. Classement de TBF calcul F (ti)	56
Table 5. Calcul de la fiabilité.....	65
Table 6. Fonction de répartition F(t).....	66
Table 7. Calcul le taux de défaillance.....	67
Table 8. Calcul la fonction de la densité.....	68
Table 9. Les différentes valeurs utilisées pour la distribution de Weibull.....	69
Table 10. Etude de maintenabilité	70
Table 11. Disponibilité instantané	71

Liste des Abréviations

AFNOR : Agence Française de Normalisation.

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

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

MBF : La maintenance basée sur la fiabilité.

AMDEC : Analyse des Modes de Défaillance de leur Effets et leur Criticité.

MSG: Maintenance Steering Group.

RCM: Reliability Centered Maintenance.

EDF :électricité de France.

OMF : Optimisation de la maintenance par la fiabilité.

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

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

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

SPE : la société Algérienne de production de l'électricité. **TG**:
La turbine à gaz gt13e2.

NOX : NO monoxyde d'azote et NO2 dioxyde d'azote.

IPB :(Isolated Phase Bus) jeu de barres sous gaine à phases isolées.

HT : Haute tension.

CC : Courant continue.

CD :(direct current) courant direct.

HSE :Hygiène Sécurité Environnement.

KKS : Une abréviation allemande du système de désignation des centrales électriques.

Toutes les centrales électriques ALSTOM utilisent le système d'identification KKS.

AVR :(Automatic Voltage Regulator) Régulateur de tension automatique.

SSD : (Static Starting Dvice) système de démarrage électronique .

SFC: (Static Frequency Converter) convertisseur statique de fréquence.

UPS :Un interruptible power supply alimentation sans interruption.

FOD: (Foreign object debris) présence d'objets étrangers.

PLC: (Programmable Logic Controller) automate programmable industriel (API).

DCS :(Distributed control system) system de contrôler distribué.

IC : INSTRUMENTATION DE CONTROLE.

TBF : Temps de bon fonctionnement.

TTR : Moyenne des temps de réparation.

μ : Taux de réparation.

η : Paramètre d'échelle.

β : Paramètre de forme.

γ : Paramètre de position.

R (t) : la fiabilité

λ : taux de défaillance.

F(t): Densité de probabilité de défaillance.

M(t) : la maintenabilité.

D(t) : la disponibilité.

Résumé :

La maintenance fondée sur la fiabilité est une méthode proactive visant à éviter les pannes et optimiser la disponibilité des équipements, en s'appuyant sur des données réelles plutôt qu'un planning fixe. Ce travail porte sur l'étude de la maintenance d'une turbine. À l'aide du logiciel Minitab, les paramètres de la loi de Weibull sont estimés, puis vérifiés via le test de Kolmogorov-Smirnov. L'analyse inclut également la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité de la turbine.

Mots clés : fiabilité, turbine, Weibull, maintenabilité, disponibilité.

ملخص:

الصيانة المعتمدة على الموثوقية هي منهجية استباقية تهدف إلى منع الأعطال وتحسين توفر المعدات بالاعتماد على البيانات الفعلية بدلاً من جدول زمني ثابت. يركز هذا العمل على دراسة صيانة التوربين. تم تقدير معاملات توزيع، ثم تم التحقق منها باختبار كولموغوروف-سميرنوف. كما تتضمن الدراسة تحليل Minitab وبيول باستخدام برنامج الموثوقية، القابلية للصيانة، والتوفر للتوربين

الكلمات المفتاحية: الموثوقية، التوربين، وبيول، القابلية للصيانة، التوفر

Abstract :

Reliability-centered maintenance is a proactive approach aimed at preventing failures and optimizing equipment availability by relying on real-time data rather than a fixed schedule. This work focuses on the maintenance study of a turbine. Using Minitab software, the parameters of the Weibull distribution are estimated and validated through the Kolmogorov-Smirnov test. The analysis also includes the turbine's reliability, maintainability, and availability.

Keywords: reliability, turbine, Weibull, maintainability, availability.

Introduction générale

Introduction générale :

Au cœur de la performance industrielle, la maintenance s'impose aujourd'hui comme un pilier stratégique incontournable. Elle ne se limite plus à la simple réparation après panne, mais vise à garantir la compétitivité et la durabilité des entreprises. En assurant la disponibilité, la fiabilité et la longévité des équipements, elle contribue à réduire les arrêts imprévus, optimiser les coûts d'exploitation et maintenir la qualité des produits.

Dans un contexte de transformation numérique et d'évolution technologique rapide, la maintenance industrielle doit s'adapter à des équipements de plus en plus automatisés et complexes. Face à ces enjeux, la maintenance proactive devient un levier stratégique, capable d'améliorer la performance et la compétitivité des entreprises.

Les plans de maintenance standard des fabricants sont souvent inadaptés aux spécificités des sites de production, d'où l'importance de la maintenance basée sur la fiabilité (MBR). En anticipant les pannes et en optimisant les interventions préventives, la MBR permet de réduire les coûts, d'améliorer la qualité des produits et de renforcer la sécurité, devenant ainsi indispensable pour assurer la fiabilité et la longévité des équipements industriels.

Ce travail vise à explorer l'application concrète de la méthode MBR dans un cadre industriel, en tenant compte des spécificités des installations. L'étude permettra de mesurer son impact réel sur la performance de l'entreprise, notamment en termes de réduction des coûts, d'amélioration de la qualité et de renforcement de la sécurité. Elle mettra en lumière la maintenance proactive non pas comme une dépense, mais comme un investissement stratégique, indispensable à la compétitivité à long terme.

Ce mémoire est structuré en quatre chapitres :

Le premier chapitre fournit une vue d'ensemble de la gestion de la maintenance, en abordant les différentes méthodes utilisées.

Le deuxième chapitre se concentre sur le modèle de fiabilité MBF et explore les lois mathématiques qui le sous-tendent.

Le troisième chapitre offre une présentation générale des turbines, suivie d'une description détaillée de la turbine à gaz GT13e2.

Enfin, le quatrième chapitre propose une étude de cas réel visant à valider notre approche sur la fiabilité de la turbine à gaz.

Chapitre I :

Généralité sur la maintenance

1 Introduction :

Les équipements, les appareils et les machines ne doivent jamais (ou presque) connaître de défaillances ou de dysfonctionnement tout en fonctionnant à un régime permettant le rendement maximal.

Pour être et demeurer compétitive, une entreprise doit produire toujours qualité et au coût le plus bas. Minimiser le coût (fabriquer plus vite et sans interruption).

Dans ce chapitre, nous allons tout d'abord rappeler des notions et généralités sur la Maintenance ; définition, rôle, objectifs, et type de maintenance.

1.1 Historiques de la maintenance :

Le terme "maintenance" est apparu dans le vocabulaire industriel dans les années 1950, bien que les concepts de maintenance remontent à l'Antiquité, avec l'évolution des premières machines. Initialement considérée comme une activité secondaire générant des coûts non productifs, la maintenance a évolué pour devenir une fonction essentielle, vitale pour le fonctionnement des entreprises. Elle a été définie par l'AFNOR comme un ensemble d'actions visant à maintenir un bien en état de fonctionnement. Cependant, l'aspect économique n'était pas pris en compte dans cette définition, ce qui a été abordé ultérieurement, soulignant l'importance de la maintenance au coût global optimal.

Face à des clients de plus en plus exigeants, les entreprises doivent garantir la disponibilité et la fiabilité de leurs équipements à moindre coût, grâce à une gestion efficace de la maintenance. Cette tâche nécessite des ressources humaines compétentes, des moyens adaptés et un bon système de gestion des pièces de rechange.

Historiquement, la maintenance a évolué d'une simple réponse aux pannes vers une approche préventive. Avec la révolution industrielle et la production en série, la maintenance est devenue une fonction propre et structurée au sein des entreprises.

Bien que la maintenance ait encore souvent un aspect réactif, elle continue d'évoluer pour anticiper les dysfonctionnements et optimiser la performance globale de la production industrielle. [3]

1.2 Définition de la maintenance :

D'après le norme AFNOR (NF X 60-010): La maintenance est un ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé. Bien maintenir, c'est assurer ces opérations au coût optimal

La définition de la maintenance fait donc apparaître 4 notions:

- **Maintenir** qui suppose un suivi et une surveillance
- **Rétablir** qui sous-entend l'idée d'une correction de défaut
- **État** spécifié ou service déterminé qui précise niveau de compétences et les objectifs attendus de la maintenance
- **Coût optimal** qui conditionne l'ensemble des opérations dans un souci d'efficacité économique.

Le service maintenance doit mettre en œuvre la politique de maintenance définie par la direction de l'entreprise; cette politique devant permettre d'atteindre le rendement maximal des systèmes de production. [3]

1.3 Le rôle de la maintenance :

On peut synthétiser les missions attribuées au service maintenance en les plaçant sur trois plans distincts:

❖ Au plan technique:

- accroître la durée de vie des équipements.
- améliorer leurs disponibilités et leurs performances

❖ Au plan économique:

- réduire les coûts de défaillances
- réduire le coût global de possession de chaque équipement

❖ Au plan social:

- réduire les risques des accidents
- revaloriser la nature du travail (Équipe, polyvalence....).

Le service maintenance d'une entreprise (quel que soit son type et son secteur d'activité) doit mettre en œuvre la politique de maintenance définie par la direction de l'entreprise cette politique devant permettre d'atteindre le rendement maximal des systèmes de production.

Cependant, tous les équipements n'ont pas le même degré d'importance d'un point de vue maintenance. Le service devra donc, dans le cadre de la politique globale, définir les stratégies les mieux adaptées aux diverses situations.

La fonction maintenance sera alors amenée à établir des prévisions ciblées:

Prévisions à long terme elles concernent les investissements lourds. Ce sont des prévisions qui sont le plus souvent dictées par la politique globale de l'entreprise.

Prévisions à moyen terme la maintenance doit se faire la plus discrète possible dans le planning de charge de la production. Il lui est donc nécessaire d'anticiper ses interventions en fonction des programmes de production.

Prévisions à courts termes elles peuvent être de l'ordre de la semaine, de la journée, voire de quelques heures. Même dans ce cas, avec le souci de perturber le moins possible la production, les interventions devront elles aussi faire l'objet d'un minimum de préparation. [5]

1.4 Objectifs de la maintenance :

La maintenance vise à garantir la disponibilité maximale des équipements de production à un coût optimal. Voici ses principaux objectifs :

1. Améliorer la fiabilité du matériel : La maintenance préventive repose sur des analyses techniques pour maximiser son efficacité et réduire les pannes
2. Garantir la qualité des produits : Une surveillance quotidienne permet de détecter les défaillances et de contrôler les paramètres de fonctionnement, assurant ainsi la qualité et minimisant les rebuts.
3. Améliorer l'ordonnancement des travaux : La planification des interventions doit être validée par le service production pour éviter les conflits et assurer une coordination efficace.
4. Assurer la sécurité humaine : La préparation des interventions doit intégrer des critères de sécurité pour prévenir les risques.
5. Améliorer la gestion de stock : La maintenance panifiable facilite le remplacement des pièces et optimise la gestion des stocks.

6. Prioriser la sécurité : La sécurité des personnes et des biens est un objectif fondamental de la maintenance. [3]

1.5 Stratégie de maintenance :

La stratégie de maintenance est une méthode de management visant à atteindre les objectifs de maintenance. Selon les normes NF EN 13306 et FD X 60-000, ses objectifs incluent :

1. Développer et adapter des méthodes de maintenance.
2. Optimiser les gammes de maintenance.
3. Organiser les équipes de maintenance.
4. Externaliser les tâches de maintenance.
5. Gérer et optimiser les stocks de pièces de rechange.
6. Évaluer l'impact économique des améliorations sur la productivité.
7. Assurer la disponibilité et la durée de vie des équipements.
8. Garantir la sécurité des personnes et des biens.
9. Maintenir la qualité des produits.
10. Protéger l'environnement.
11. Optimiser les coûts de maintenance. [3]

1.6 Les niveaux de maintenance :

La norme propose, à titre indicatif, les cinq niveaux suivants. Leur utilisation pratique, après définitions précises dépendant du bien à maintenir, suppose l'accord des parties en présence. [2]

Niveau de Maintenance	Définition	Observation
Niveau 1	Réglages simples au moyen d'éléments accessibles sans aucun démontage ou ouverture de l'équipement, ou échanges d'éléments consommables accessibles en toute sécurité (voyants, fusibles...).	-Réalisable par l'exploitant du bien sans outillage. -Faible stock de pièces consommables.
Niveau 2	Dépannages par échange standard des éléments prévus à cet effet et opérations mineures de maintenance préventive telles que les graissages ou contrôles de bon fonctionnement.	-Intervenant de qualification moyenne -Intervention sur place avec outillage portable -Pièces de rechange sans délai à proximité et transportables.
Niveau 3	Identification et diagnostic des pannes, réparations par échange de composants ou d'éléments fonctionnels réparations mécaniques mineures et toutes opérations courantes de maintenance préventive telles que réglage général ou réalignement des appareils de mesure.	-Technicien spécialisé, sur place ou dans le local de maintenance. -Outillages prévus par notices. -Appareils de mesure et de réglage. -Au besoin bancs d'essais, etc. -Pièces approvisionnées par le magasin.
Niveau 4	Tous les travaux de maintenance corrective OU préventive sauf rénovation et reconstruction. Avec réglages des appareils de mesure utilisés. Au besoin vérification des étalons de mesure par des organismes spécialisés.	Équipe avec encadrement très spécialisé. Atelier spécialisé. Outillage général. Au besoin bague de mesure et étalons de travail. Toutes documentations.

Niveau 5	Rénovation, reconstruction, et toutes les opérations importantes confiées à un atelier central ou à des unités extérieures.	Travaux à réaliser par le constructeur ou le reconstruteur avec des moyens proches de ceux de la fabrication
----------	---	--

Table 1. Les niveaux de maintenance

1.7 Concepts de Maintenance:

L'analyse des différentes formes de maintenance repose sur 4 concepts:

- ✓ **Les événements qui sont à l'origine de l'action** : référence à un échancier, la subordination à un type d'événement (auto diagnostic, information d'un capteur, mesure d'une usure, etc.), l'apparition d'une défaillance.
 - ✓ **Les méthodes de maintenance qui leur seront respectivement associées** : maintenance préventive systématique, maintenance préventive conditionnelle, maintenance corrective.
 - ✓ **Les opérations de maintenance proprement dites**: inspection, contrôle, dépannage, réparation, etc.
 - ✓ **Les activités connexes** maintenance d'amélioration, rénovation, reconstruction, modernisation, travaux neufs, sécurité, etc.
- Cette réflexion terminologique et conceptuelle représente une base de référence pour:
- L'utilisation d'un langage commun pour toutes les parties (conception, production, prestataires des services, etc.)
 - La mise en place des systèmes informatisés de gestion de la maintenance.

[1]

1.8 Classification des types de maintenance :

La maintenance regroupe plusieurs types d'interventions visant à garantir le bon fonctionnement d'un équipement, d'une machine ou d'un système. Elle se classe en plusieurs catégories principales :

- Maintenance corrective
- maintenance préventive

Comme il est montré sur la (figure 1) [5]

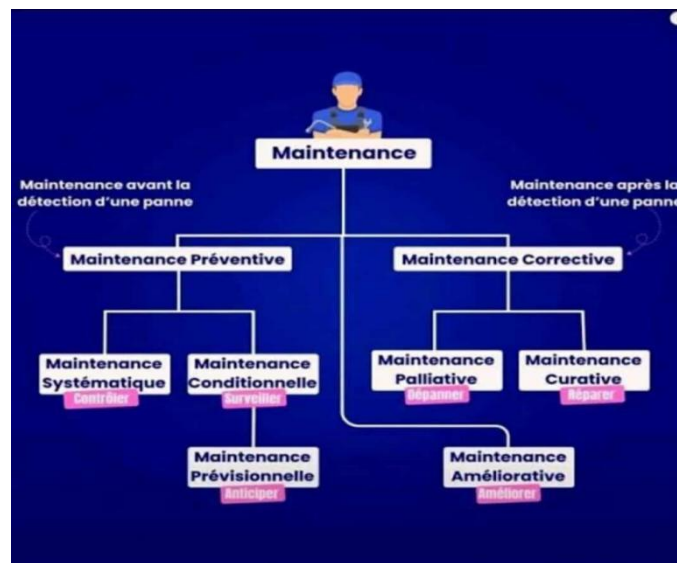


Figure 1. Classification des types de la maintenance

1.8.1 Maintenance corrective :

La maintenance corrective correspond à une attitude de défense (subir) dans l'attente d'une défaillance fortuite, attitude caractéristique de l'entretien traditionnel. [4]

1.8.1.1 Les Opérations de la maintenance corrective :

Après apparition d'une défaillance, la maintenicienne doit mettre en œuvre un certain nombre d'opérations dont les définitions sont données ci-dessous. Ces opérations s'effectuent par étapes (dans l'ordre):

- ❖ **Test** : c'est à dire la comparaison des mesures avec une référence.
- ❖ **Détection** ou action de déceler l'apparition d'une défaillance.
- ❖ **Localisation** ou action conduisant à rechercher précisément les éléments par lesquels la défaillance se manifeste.
- ❖ **Diagnostic** ou identification et analyse des causes de la défaillance.
- ❖ **Dépannage, réparation** ou remise en état (avec ou sans modification).

- ❖ **Contrôle** du bon fonctionnement après intervention
- ❖ **Amélioration éventuelle:** c'est à dire éviter la réapparition de la panne.
- ❖ **Historique** ou mise en mémoire de l'intervention pour une exploitation ultérieure. [1]

1.8.1.2 Les types de maintenance corrective :

-Qui consiste à intervenir sur un équipement une fois que celui-ci est défaillant. Elle se subdivise en:

- ✓ **Maintenance palliative:** dépannage (donc provisoire) de l'équipement, permettant à celui-ci d'assurer tout ou partie d'une fonction requise: elle doit toutefois être suivie d'une action curative dans les plus brefs délais,
- ✓ **Maintenance curative:** réparation (donc durable) consistant en une remise en l'état initial.

1.8.2 Maintenance préventive :

Maintenance effectuée selon des critères prédéterminés, dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu. Elle doit permettre d'éviter les défaillances du matériel en cours d'utilisation.

L'analyse des coûts doit mettre en évidence un gain par rapport aux défaillances qu'elle permet d'éviter. [1]

1.8.2.1 Les objectifs de la maintenance préventive :

- ✓ Augmenter la durée de vie des matériels.
- ✓ Diminuer la probabilité des défaillances en service.
- ✓ Diminuer les temps d'arrêt en cas de révision ou de panne.
- ✓ Prévenir et aussi prévoir les interventions coûteuses de maintenance corrective.
- ✓ Permettre de décider la maintenance corrective dans de bonnes conditions.
- ✓ Éviter les consommations anormales d'énergie, de lubrifiant, de pièces détachées, etc
- ✓ Améliorer les conditions de travail du personnel de production.
- ✓ Diminuer le budget de maintenance.
- ✓ Supprimer les causes d'accidents graves. [1]

1.8.2.2 Les opérations de la maintenance préventive :

Ces opérations trouvent leurs définitions dans la norme NF X 60-010 et NF EN 13306.

- ❖ **Inspection:** contrôle de conformité réalisé en mesurant, observant testant ou calibrant les caractéristiques significatives d'un bien; elle permet de relever des anomalies et d'exécuter des réglages simples ne nécessitant pas d'outillage spécifique, ni d'arrêt de la production foudres équipements (pas de démontage).
- ❖ **Contrôle :** vérification de la conformité à des données préétablies, suivie d'un jugement. Ce contrôle peut déboucher sur une action de maintenance corrective ou alors inclure une décision de refus, d'acceptation ou d'ajournement.
- ❖ **Visite:** examen détaillé et prédéterminé de tout (visite générale) ou partie (visite limitée) des différents éléments du bien et pouvant impliquer des opérations de maintenance du premier et du deuxième niveau; il peut également déboucher sur la maintenance corrective.
- ❖ **Test:** comparaison des réponses d'un système par rapport à un système de référence ou à un phénomène physique significatif d'une marche correcte.
- ❖ **Échange standard:** remplacement d'une pièce ou d'un sous-ensemble défectueux par une pièce identique, neuve ou remise en état préalablement, conformément aux prescriptions du constructeur.
- ❖ **Révision:** ensemble complet d'examens et d'actions réalisées afin de maintenir le niveau de disponibilité et de sécurité d'un bien. Une révision est souvent conduite à des intervalles prescrits du temps ou après un nombre déterminé d'opérations. Une révision demande un démontage total ou partiel du bien. Le terme révision ne doit donc pas être confondu avec surveillance. [1]

1.8.2.3 Les types de la maintenance préventive :

a-La maintenance «conditionnelle»: on l'appelle aussi maintenance prédictive (terme non normalisé) ,elle permet, grâce à une surveillance très précise, de suivre l'évolution d'un défaut ou d'une usure et donc de planifier une intervention avant défaillance totale ou partielle.[6]

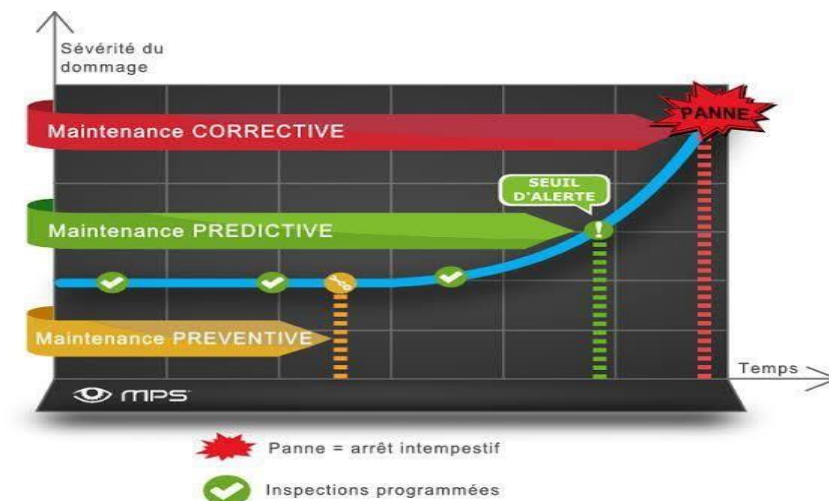


Figure 2. Maintenance préventive conditionnelle

b- La maintenance «systématique»: selon un planning prévu et établi, ce type d'intervention permet d'effectuer des opérations de maintenance, afin d'éliminer ou de diminuer les risques de dysfonctionnement des systèmes de production.

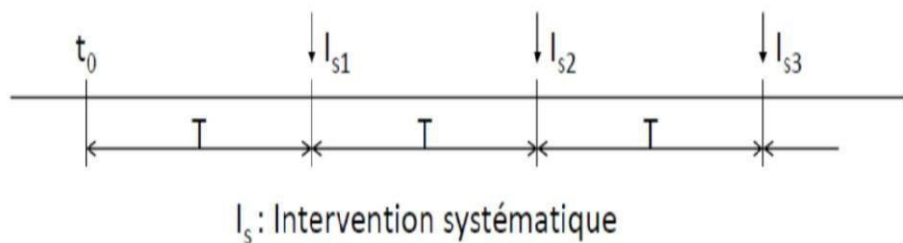


Figure 3. Maintenance systématique réalisée à intervalles constants

L'intervalle T peut-être exprimé en :

- Temps
- Nombre de cycles
- Distance
- Tonnage

Cette périodicité d'intervention est déterminée à partir de la mise en service ou après une révision complète ou partielle. cette méthode nécessite de connaître :

- Le comportement du matériel.
- Les modes de dégradation.
- Le temps moyen de bon fonctionnement entre 2 avaries. [2]

c-La maintenance « Améliorative »: Après plusieurs défaillances de même nature, ce type de maintenance permet, après réflexion et étude, d'éliminer le problème. Elle nécessite obligatoirement une concertation entre services: Production Bureau d'étude et de Maintenance. [6]

1.9 Conclusion :

La maintenance est un élément essentiel dans la gestion des systèmes et des équipements, qu'ils soient industriels, informatiques ou infrastructures. Elle joue un rôle crucial dans la prévention des pannes, permettant ainsi de réduire les coûts liés aux réparations imprévues et d'optimiser la durée de vie des équipements. En assurant un fonctionnement optimal, la maintenance régulière augmente l'efficacité opérationnelle et la productivité des entreprises, tout en contribuant à la sécurité des environnements de travail en minimisant les risques d'accidents. Bien qu'elle nécessite un investissement, la maintenance représente un levier stratégique pour la performance à long terme, surtout avec l'intégration de technologies avancées comme l'IOT et l'analyse de données, qui rendent les processus plus efficaces et proactifs. Ainsi, la maintenance ne doit pas être perçue simplement comme une obligation, mais comme une opportunité de garantir la durabilité et la compétitivité des organisations.

Chapitre II :

Les lois de la fiabilité

2 Introduction :

La maintenance basée sur la fiabilité (MBF) est une approche stratégique visant à optimiser la gestion des actifs industriels en tenant compte des modes de défaillance et de leurs conséquences. Contrairement aux méthodes traditionnelles de maintenance corrective ou préventive systématique, la MBF repose sur une analyse approfondie des équipements pour déterminer les interventions les plus efficaces et rentables.

Cette approche s'appuie sur des outils tels que l'analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC), les données de performance des équipements, ainsi que les techniques de surveillance conditionnelle. Son objectif est d'améliorer la disponibilité des équipements, de réduire les coûts de maintenance et d'optimiser la sécurité et la fiabilité des systèmes. La maintenance basée sur la fiabilité

2.1 Historique de la MBF :

La méthode MBF, également appelée RCM, a fait son apparition dans le domaine aéronautique aux États-Unis autour de 1960, dans le but de définir les programmes de maintenance. Un document, connu sous le nom de MSG, a posé les fondations de cette méthode, visant à structurer les programmes de maintenance pour l'ensemble des acteurs du secteur. Au fil du temps, l'évolution des directives MSG a abouti à une réduction de la maintenance planifiée, au profit des actions conditionnelles, puis à une optimisation économique, tout en gardant la sécurité comme priorité absolue. En France, le concept de RCM a été introduit en 1984 grâce à EDF, qui souhaitait l'appliquer à ses installations nucléaires. Le projet OMF en est résulté, avec pour objectif de définir un programme de maintenance préventive visant à maintenir, voire amélioré, la fiabilité des systèmes critiques pour la sécurité et la disponibilité des réacteurs nucléaire

s. Les buts de l'OMF sont de maintenir et améliorer la sûreté nucléaire, de maîtriser les coûts, d'optimiser la maintenance économiquement, d'adopter une méthode structurée fondée sur l'analyse des défaillances fonctionnelles et d'utiliser le retour d'expérience pour ajuster les programmes de maintenance.

L'adoption- de la RCM dans le secteur industriel français a été lancée vers 1996. Cette approche repose sur une analyse technique des équipements et implique fortement les agents de maintenance, avec pour objectif d'accroître la disponibilité des équipements. [7]

2.2 Définition de la MBF :

La Maintenance Basée sur la Fiabilité (MBF) est une formation destinée aux professionnels de la maintenance qui souhaitent adopter une approche stratégique pour optimiser la fiabilité des équipements et réduire les pannes. Ce programme s'adresse aux ingénieurs de maintenance, responsables techniques et gestionnaires d'installations désireux de mettre en œuvre des pratiques de maintenance fondées sur l'analyse des risques et la gestion proactive des actifs. Les participants apprendront à identifier les modes de défaillance possibles, à évaluer la criticité des équipements et à développer des stratégies de maintenance ciblées pour améliorer la disponibilité des machines. Grâce à l'application des principes de la MBF, ils seront en mesure de réduire les coûts de maintenance, prolonger la durée de vie des équipements et accroître la performance globale de leurs installations..[8]

2.3 Objectifs de la MBF :

La maintenance basée sur la fiabilité (RCM - Reliability-Centered Maintenance) vise à optimiser les stratégies de maintenance en fonction des exigences opérationnelles et des risques de défaillance. Ses principaux objectifs sont

- Optimiser la disponibilité des équipements critiques, en tenant compte de leur impact sur la sécurité, la qualité, et les flux de production.

- Améliorer cette disponibilité en réduisant les défaillances techniques grâce à un plan préventif ciblé, tout en réduisant les temps d'arrêt de production par une réorganisation des responsabilités entre la production et la maintenance.

- Maîtriser les coûts en améliorant le plan de maintenance préventive, en concentrant les actions de prévention aux moments et endroits stratégiques, et en éliminant les tâches préventives non productives.

- Mettre en place une approche structurée fondée sur une analyse systématique de chaque mode de défaillance, justifiant ainsi les décisions prises.[9]

2.4 Les principes de MBF :

Les principes de MBF (Maintenance Basée sur la Fiabilité) sont essentiels pour optimiser la gestion des équipements et réduire les risques de pannes. Parmi ces principes, on retrouve :

- **Principe d'autolimitation** : Ce principe concerne la sélection systématique des équipements selon leur criticité. Il s'applique à différents niveaux, allant des équipements critiques aux sous-ensembles fragiles, en passant par leurs défaillances, les causes de ces défaillances et les tâches de maintenance associées.
- **Principe de subordination** : Les tâches de maintenance sont nécessairement liées à une connaissance approfondie des défaillances et de leurs causes. Cela nécessite une compréhension à la fois fonctionnelle et dysfonctionnement des équipements.
- **Principe de participation** : La MBF repose sur une collaboration active entre tous les acteurs impliqués dans le processus (production, maintenance, qualité), organisés en groupes de travail.[10]

2.5 Fiabilité :

2.5.1 Définition de la fiabilité :

Selon la norme AFNOR NF La Maintenance Basée sur la Fiabilité (MBF) est une approche de maintenance qui repose sur l'analyse de la fiabilité des équipements afin d'optimiser les stratégies d'intervention.

La fiabilité d'une entité correspond à sa capacité à assurer une fonction requise pendant une durée déterminée et dans des conditions spécifiques. Autrement dit, elle peut être définie comme la probabilité moyenne qu'un système fonctionne sans défaillance sur une période donnée. Les principaux facteurs influençant la fiabilité incluent les conditions d'utilisation, le temps de fonctionnement ou le nombre de cycles. De plus, la fiabilité d'un dispositif est étroitement liée à la nature de la fonction qu'il doit remplir. .[11]

2.5.2 Objectifs de la Fiabilité :

- Garantir la performance d'un système sur une période définie.
- Évaluer avec précision le niveau de confiance accordé à un équipement.
- Estimer la durée de vie d'un dispositif.
- Déterminer avec exactitude le temps de fonctionnement.
- Élaborer une stratégie d'entretien adaptée.
- Optimiser la gestion des stocks. .[11]

2.5.3 Les différents types de Fiabilité :

- Fiabilité intrinsèque : Dépend exclusivement des caractéristiques du matériel et de son environnement, sans influence extérieure.
- Fiabilité extrinsèque : Résulte des conditions d'exploitation, de la qualité de la maintenance et des interventions humaines.
- Fiabilité implicite : Basée sur l'expérience, elle vise à minimiser la fréquence et la durée des arrêts.
- Fiabilité explicite : Fondée sur un modèle mathématique, elle permet de déterminer avec rigueur le degré de confiance attribué au matériel .[12]

2.5.4 Fonction de Fiabilité $R(t)$:

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

La variable aléatoire T est positive, elle est de plus supposée absolument continue.

La fonction de fiabilité est définie par :

$$R(t) = p(T \geq t), t \geq 0 \quad (2.1.)$$

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

La fiabilité est donc une fonction du temps, encore appelée fonction de survie. [13]

2.5.5 Fonction de réparation de fiabilité $f(t)$:

C'est la probabilité de défaillance dans l'intervalle de temps, $[0, t]$. Elle est définie par la relation :

$$F(t) = 1 - R(t) \quad (2.2)$$

Qu'on peut aussi écrire sous la forme suivante :

$$R(t) + F(t) = 1 \quad (2.3)$$

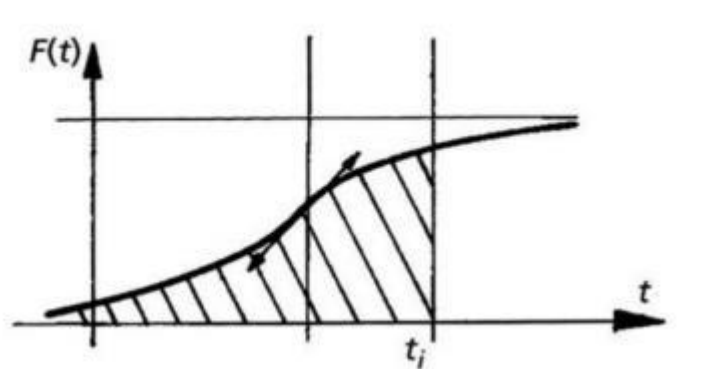


Figure 4. Fonction de réparation

2.5.6 Densité de probabilité :

$f(t)$ représente le taux de défaillance d'un produit tombe en panne au cours de l'intervalle de temps $[t, t+dt]$

$$f(t) = \lim_{dt \rightarrow 0} \left(\frac{\text{prob}(t < T < t + dt)}{dt} \right) \quad (2.4)$$

$$f(t) = \frac{dF(t)}{d(t)} = -\frac{dR(t)}{d(t)} \quad (2.5)$$

2.6 Défaillance :

2.6.1 Définition de défaillance :

La défaillance désigne la détérioration ou l'interruption de la capacité d'une entité à assurer une fonction attendue. Lorsqu'une entité subit une défaillance, elle se retrouve

en état de panne. Il s'agit du passage d'un état de fonctionnement normal à un état dégradé ou défectueux. [14]

2.6.2 Différents types de défaillances :

Un équipement en opération ne peut pas toujours signaler une défaillance en tant que telle. Il observe plutôt une condition d'exploitation insatisfaisante, un symptôme. Cette condition peut néanmoins être conforme aux normes ou représenter une véritable défaillance. Puisqu'une défaillance se définit comme une condition insatisfaisante, on distingue deux types de défaillances :

- **Défaillance Potentielle** : Une défaillance potentielle est une anomalie qui peut être détectée avant qu'elle ne cause une panne réelle. Elle indique qu'un composant ou un système est en train de se dégrader, mais il fonctionne encore.
- **Défaillance Fonctionnelle** : Une défaillance fonctionnelle est la perte totale ou partielle de la fonction d'un système ou d'un composant. C'est une panne avérée qui empêche le bon fonctionnement de l'équipement. [14]

2.6.3 Classification des défaillances :

2.6.3.1 Classification selon la rapidité d'apparition :

- ❖ **Défaillance progressive** : Résulte d'une évolution lente des caractéristiques d'une entité au fil du temps.
- ❖ **Défaillance soudaine** : Survient brutalement, sans signe précurseur détectable par une inspection ou une surveillance antérieure.

2.6.3.2 Classification selon l'ampleur de l'impact :

- ❖ **Défaillance partielle** : Une ou plusieurs caractéristiques dépassent les limites spécifiées, mais la fonction principale est encore partiellement assurée.
- ❖ **Défaillance complète** : Les écarts par rapport aux limites spécifiées entraînent une perte totale de la fonction requise.

2.6.3.3 Classification selon les causes :

- ❖ **Défaillance primaire** : Se produit indépendamment d'autres pannes. Sa cause n'est pas liée à la défaillance d'une autre entité et nécessite une réparation pour restaurer le fonctionnement.
- ❖ **Défaillance secondaire** : Résulte directement ou indirectement de la défaillance d'une autre entité, souvent mal évaluée ou sous-dimensionnée. Elle peut être causée par des facteurs environnementaux ou des erreurs humaines et nécessite une intervention pour rétablir l'état de fonctionnement.
- ❖ **Défaillance de commande** : Une défaillance de commande se produit lorsqu'une entité tombe en panne en raison de la défaillance directe ou indirecte d'une autre entité, bien que celle-ci ait été correctement qualifiée et dimensionnée. Contrairement à d'autres types de défaillances, une réparation n'est généralement pas nécessaire pour restaurer le fonctionnement. Ce type de défaillance survient lorsque l'entité change d'état de manière inopinée à la suite de signaux de commande ou de contrôle intempestifs. [14]

2.6.4 Taux de défaillance :

Le taux de défaillance instantané est le taux de défaillance d'un système ayant fonctionné pendant une durée .

$$\lambda(t)d(t) = \frac{f(t) + d(t) - F(t)}{R(t)} = \frac{dF(t)}{1 - F(t)} \quad (2.6)$$

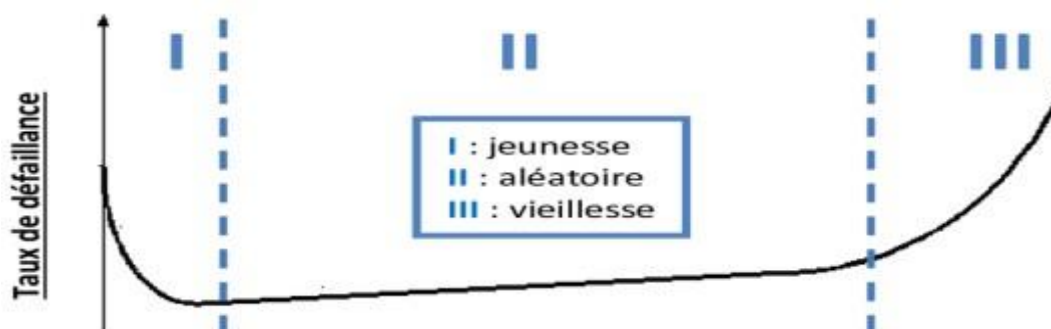


Figure 5. taux de défaillance $\lambda(t)$ en fonction d λ e temps

Cette courbe met en évidence trois périodes distinctes :

● **Zone I.** Période de jeunesse (rodage).

Le taux de défaillance décroît relativement vite après élimination des composants de qualité Médiocre ou mal montés.

● **Zone II.** Période de maturité (pleine activité).

Le taux de défaillance est constant. C'est la période de vie utile (ou période de pannes fortuites).

● **Zone III.** Période de vieillesse ou d'usure.

Les défaillances sont dues à l'âge ou à l'usure des composants, $\lambda(t)$ croît avec le temps du fait

De la dégradation du matériel (usures mécaniques, fatigue, etc....), Cette courbe en baignoire Montre bien que la maintenance préventive n'est réellement justifiée que pour la phase de Maturité. Dans cette période, le taux de défaillance est sensiblement constant et égal à l'inverse de l'indice de fiabilité MTBF.[15]

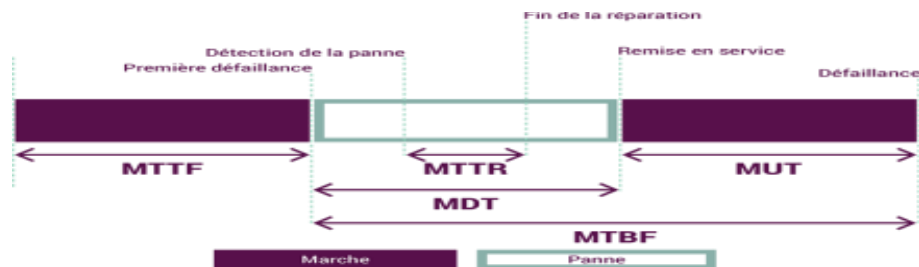


Figure 6.diagramme de temps moyens

2.7 Indicateur de maintenance :

1 MTTF : temps moyenne de bon fonctionnement avant la première défaillance.

2 MTBF : moyenne de temps de bon fonctionnement.

$$MTBF = \frac{\text{temps total de fonctionnement pour l'ensemble des produit}}{\text{nombre total de défaillance}} \quad (2.7)$$

$$MTBF = MDT + MUT \quad (2.8)$$

3 MTTR : temps moyens pour réparer

$$MTTR = \frac{\text{temps d'arrêt total}}{\text{nombre d'arrêt}} \quad (2.9)$$

4 MDT : temps moyen de panne

5 MUT : durée moyenne de bon fonctionnement après réparation

2.8 Les lois de Fiabilité :

2.8.1 La Loi de Pareto : (méthode ABC)

○ Historique de la loi de Pareto :

Le principe de Pareto, également connu sous le nom de règle des 80/20, a été formulé par l'économiste italien Vilfredo Pareto à la fin du XIXe siècle. En 1896, il a observé que 80 % des terres en Italie étaient détenues par seulement 20 % de la population. Cette constatation l'a conduit à étudier la répartition des richesses dans d'autres pays, où il a trouvé des schémas similaires

Par ailleurs, Pareto a noté que dans son propre jardin, 20 % des plants de pois produisaient 80 % des récoltes. Ces observations l'ont amené à formuler une loi empirique selon laquelle une minorité de causes est responsable de la majorité des effets. Ce principe a depuis été appliqué dans divers domaines, tels que la gestion, l'économie et la productivité personnelle

○ Définition :

La méthode ABC est une approche d'analyse objective permettant de classer les éléments en fonction de leur importance relative dans un ensemble étudié. Elle repose sur l'évaluation des pourcentages associés à un critère déterminé.

Cette méthode facilite l'identification des éléments essentiels d'un problème, aidant ainsi à établir des priorités et à orienter les choix. En pratique, elle consiste à classer les événements (tels que les pannes) par ordre décroissant selon un critère spécifique (coût financier, temps d'arrêt, fréquence, etc.). Un graphique est ensuite élaboré pour représenter la relation entre le pourcentage cumulé des coûts et celui des types de pannes ou de défaillances.

○ L'analyse ABC:

Cette loi est issue des travaux de WILFREDO PARETO, économiste italien (1848 – 1923), elle fait sortir une concordance entre le faible pourcentage du nombre d'événements observés et le fort pourcentage de la variable induite étudiée et qui permet de faire apparaître les éléments représentatifs :

- a. D'une fabrication.
- b. Du produit en stock.

- c. Des clients, des fournisseurs.
- d. Des pannes, des prélèvements.

Alors, c'est un moyen d'analyse qui permet de mettre en évidence, les individus d'une population les plus marqués par le critère qui aura un impact significatif sur l'ensemble du fonctionnement.

Cette façon de procéder permettra de maîtriser petit à petit les différents domaines d'intervention et aidera à mieux planifier les travaux de maintenance corrective ou préventive.

Courbe théorique:

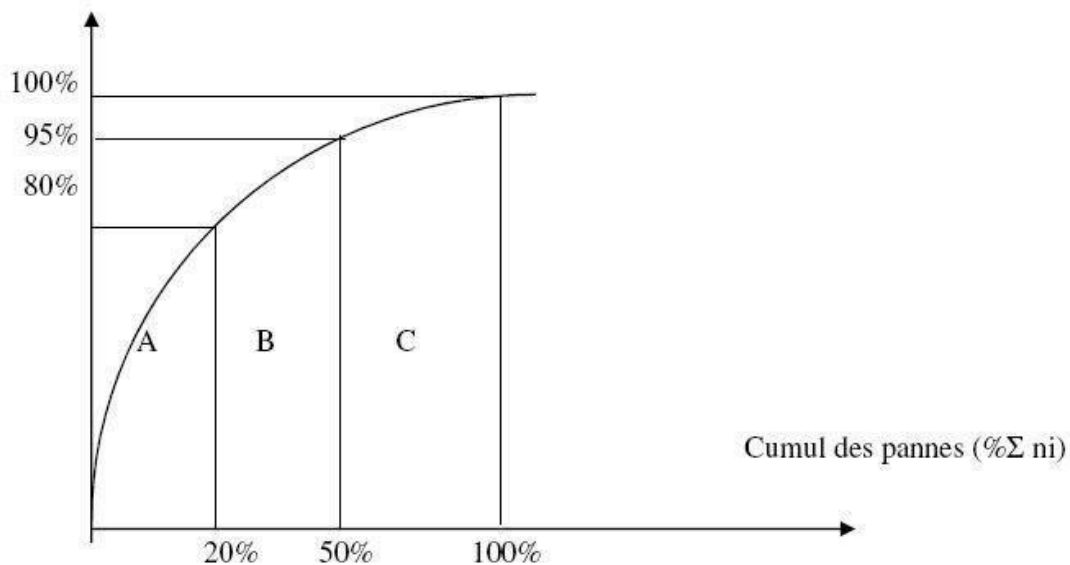


Figure 7.diagramme de Pareto

1. **Zone A : (zone de priorité)** 20 % des pannes sont responsables de 80 % des coûts.
 2. **Zone B :** dans cette zone 30 % des pannes représentent 15 % des temps d'arrêts.
C'est la zone moins importante.
 3. **Zone C :** dans cette zone 50 % des pannes représentent 5 % des temps d'arrêts. C'est la zone moins importante.
- **Objectif de la méthode ABC :**
L'application de cette méthode permet d'identifier les éléments les plus critiques afin de réduire leur impact. Cela contribue à :
 - Réduire les coûts de maintenance .

- Améliorer la fiabilité des systèmes .
- Justifier l'adoption d'une politique de maintenance adaptée.

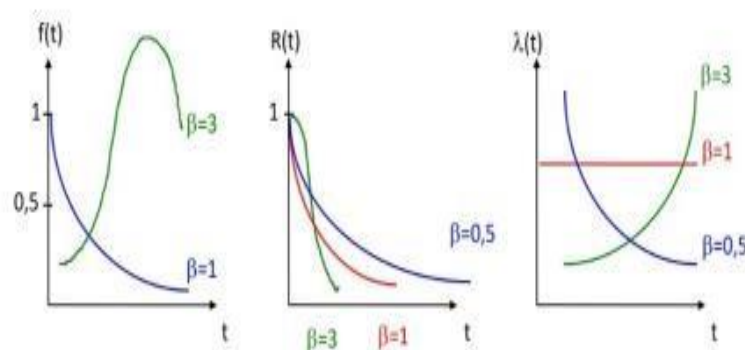
2.8.2 La Loi de Weibull :

Ce modèle est particulièrement bien adapté à l'analyse statistique des défaillances

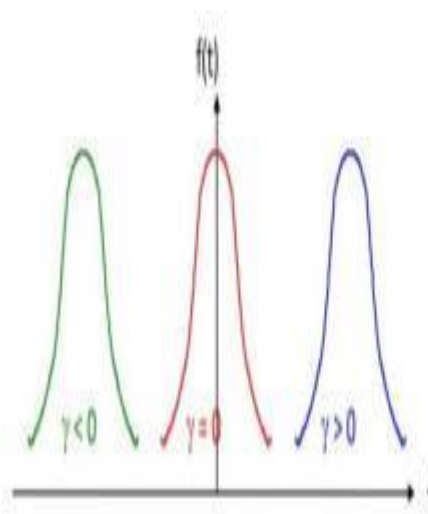
Weibull a établi une formule générale pour le taux d'avarie principales propriétés de la distribution exponentielle $\gamma(t)$ qui dépend de trois paramètres.

1. : β est le paramètre de forme > 0 sans dimension :

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

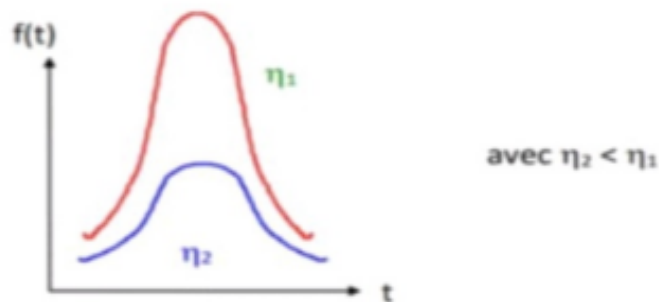


2. $-\infty < \gamma < +\infty$, qui s'exprime dans l'unité de temps



- ❖ $\gamma > 0$; survie totale sur l'intervalle de temps $[0, \gamma]$.
- ❖ $\gamma = 0$: les défaillances s débutent à l'origine des temps.
- ❖ $\gamma < 0$: les défaillances ont débuté avant l'origine des temps

η : c'est le paramètre d'échelle > 0



La densité de probabilité pour la distribution de weibull est :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta}} \quad (2.10)$$

La probabilité d'avarie cumulée au temps de 0 à t

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta}} \quad (2.11)$$

La fonction de fiabilité est :

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (2.12)$$

Le taux de défaillance est : $\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1}$ (2.13)

Pour la fonction de R(t) on a trois allures de graphe :

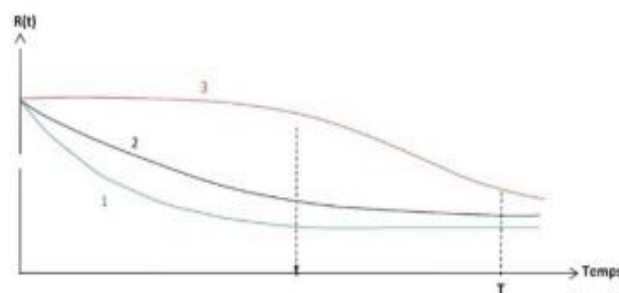


Figure 8. Différent forme de R(t)

Courbe 1 : la présence de défauts de jeunesse ($\beta < 1$)

Courbe 2 : l'équipement n'est pas encore sujet de vieillissement ($\beta = 1$)

Courbe 3 : présence du phénomène d'usure ($\beta > 1$)

2.8.3 La Loi exponentielle :

En fiabilité la loi exponentielle est souvent utilisée pour modéliser le temps de vie des systèmes dont le taux de défaillance est constant

Cela signifie que la probabilité qu'un système tombe en panne dans un court intervalle de temps ne dépend pas de son âge

La fonction de fiabilité est $R(t) = e^{-\lambda t}$ (2.14)

La probabilité de défaillance est $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$ (2.15)

La densité de probabilité est $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$ (2.16)

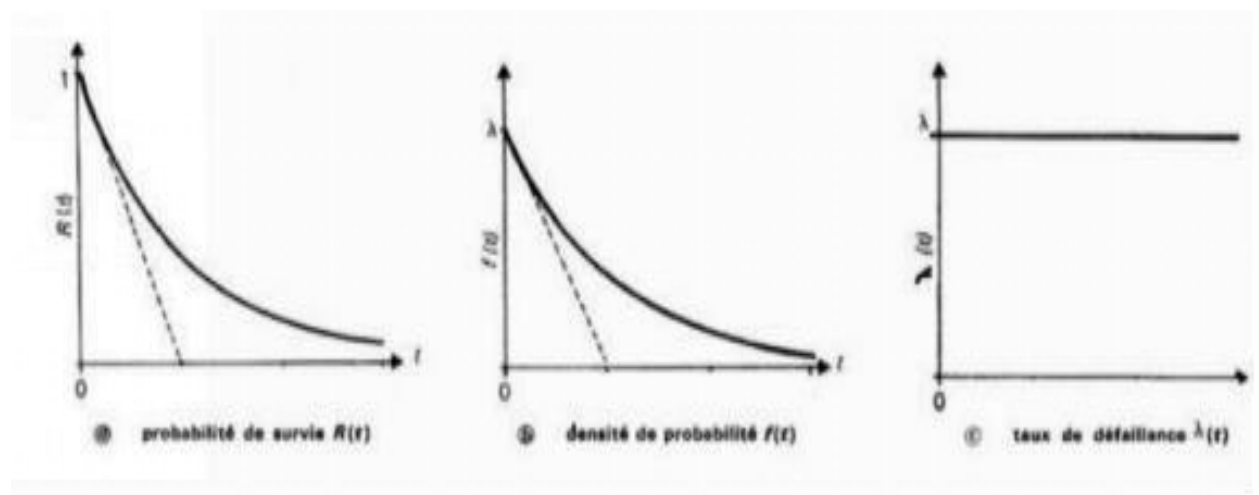


Figure 9. principales propriétés de la distribution exponentielle.

2.9 Conclusion :

La maintenance basée sur la fiabilité (MBF) repose sur des modèles statistiques permettant d'anticiper les défaillances et d'optimiser les interventions. Parmi ces modèles, les lois exponentielles, de Weibull et de Pareto jouent un rôle fondamental dans l'élaboration des stratégies de maintenance.

La loi exponentielle est utilisée pour modéliser les pannes aléatoires, caractérisées par un taux de défaillance constant. Elle est particulièrement adaptée aux systèmes où les pannes surviennent de manière imprévisible, sans lien avec l'usure.

La loi de Weibull, plus polyvalente, permet d'analyser les différentes phases du cycle de vie des équipements : les pannes précoces, la période de fonctionnement stable et l'usure progressive. Cette approche est essentielle pour ajuster les stratégies de maintenance, qu'elles soient préventives ou conditionnelles.

Quant à la loi de Pareto (principe des 80/20), elle met en évidence que la majorité des pannes provient d'un nombre limité de causes. Son application permet d'identifier et de traiter en priorité les éléments les plus critiques, optimisant ainsi l'utilisation des ressources et réduisant les coûts d'intervention.

En intégrant ces modèles dans la gestion de la maintenance, les entreprises peuvent mieux anticiper les pannes, réduire les interruptions imprévues et améliorer la fiabilité des équipements. Cette approche analytique permet ainsi d'optimiser la disponibilité des actifs tout en garantissant un fonctionnement plus sûr et plus efficace des installations.

Chapitre III :

La Turbine à Gaz gt13e2

3 Introduction :

Plusieurs économies mondiales se reposent essentiellement sur l'énergie (gaz et pétrole) et pour produire de l'électricité, injecter les matières dans les zones de raffinage, de liquéfaction et de transport on utilise des machines appelées turbines. Les plus importantes sont les turbines à gaz.

Tout d'abord, Les turbines à gaz sont des machines polyvalentes aux multiples applications. Elles jouent un rôle crucial dans la production d'énergie électrique, notamment dans les centrales où elles sont souvent combinées avec des turbines à vapeur pour améliorer l'efficacité énergétique.

Ensuite, De technologie plus récente que celle de la turbine à vapeur, la turbine à gaz délivre des turboréacteurs d'avions développés durant la deuxième guerre mondiale. Conçue à l'origine pour l'aviation, celle-ci, à l'opposé de la turbine à vapeur compacte et << légère >>.

Enfin, Les turbines à gaz sont essentielles dans la production d'énergie, notamment dans les centrales thermiques où elles convertissent l'énergie chimique du gaz en énergie mécanique pour entraîner un générateur électrique.

3.1 La centrale électrique de l'unité (SPE) :

3.1.1 Présentation de l'entreprise :

La Société Algérienne de Production de l'Électricité (SPE) a pour mission de produire de l'électricité à partir de sources hydrauliques tout en respectant les normes de disponibilité, de fiabilité, de sécurité et de protection de l'environnement, et elle est également responsable de la commercialisation de l'électricité générée. La centrale de RELIZANE, d'une capacité de 3*155 MW, est une installation de production d'énergie électrique située dans la zone d'activité de BELHCEL, à environ 5 km au nord de la ville de RELIZANE. S'étendant sur une superficie de 12 hectares, le site est entièrement clôturé et délimité au sud et à l'est par la décharge publique de la ville, tandis qu'au nord et à l'ouest, il est adjacent à la zone d'activité locale.



Figure 10. Centrale électrique à cycle combiné RELIZANE

3.1.2 Localisation géographique :

Le site de la centrale se trouve dans une zone clôturée, délimitée au sud et à l'est par la décharge publique de la ville de Relizane, et au nord et à l'ouest par la zone d'activité de la ville. L'unité de Relizane est située sur l'axe Relizane - Commune de Belhcel, à 1 km de l'autoroute Est-Ouest. Elle est également à 6 km de la protection civile et à 10 km du groupement de la gendarmerie nationale de Belhcel.



Figure 11. La géographie de centrale RELIZANE

3.1.3 Caractéristiques de centrale :

La centrale est composée de trois groupes de puissance de 155 MW chacun.

Les groupes turboalternateurs ont la possibilité de fonctionner avec deux types de combustible à savoir : gaz naturel et en gaz oil qui est utilisé en secoures,

La centrale est réalisée par la compagnie française ALSTOM.

- Couplage du groupe 01 réalisé le 16/07/2009.
- Couplage du groupe 02, en date du 18/08/2009.
- Couplage du groupe 03, en date du 08/09/2000

NB: Les Alternateurs et les turbines à gaz des trois Groupes sont de marque ALSTOM.

3.1.4 Les équipements de centrale :

La centrale comporte trois groupes turboalternateurs, chacun équipé d'une turbine à gaz ALSTOM Gt13e2. Chaque turbine comprend un compresseur axial à 21 étages, une chambre de combustion annulaire avec 72 brûleurs, et une turbine à 5 étages tournant à 3000 tr/min.

L'alimentation en combustible est assurée par une ligne de gaz comportant une vanne d'arrêt principal, trois vannes de contrôle hydrauliques et une vanne de décharge. Un système combiné permet également l'injection de gaz oil et d'eau, avec des vannes de régulation et de purge, ainsi qu'un débitmètre pour le contrôle du gaz oil.

L'unité d'allumage utilise deux bouteilles de propane, une vanne de détente, une soupape de sécurité, un filtre et un ventilateur d'extraction à courant continu.

L'air d'admission passe par un collecteur, et les gaz sont évacués par une cheminée via un diffuseur et un compensateur d'échappement.

Chaque groupe comprend aussi un bloc auxiliaire composé de plusieurs circuits d'huile (graissage, commande, soulèvement) avec des pompes électriques et à courant continu. Un système de virage du rotor est présent pour les phases d'arrêt.

Enfin, divers équipements assurent le bon fonctionnement et la sécurité : filtre autonettoyant à l'admission d'air, système de refroidissement eau/air, réservoir de récupération des purges, systèmes de détection de gaz, protection incendie, ainsi qu'un système mobile de lavage du compresseur. Le tout est logé dans une enceinte acoustique pour l'isolation sonore.

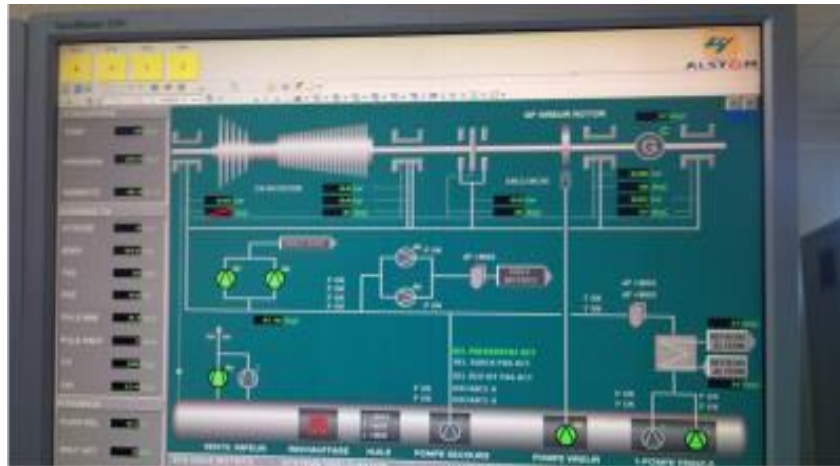


Figure 12. Schéma du bloc auxiliaire dans la salle de contrôle

3.1.5 Poste de Gaz :

Le poste gaz alimente la turbine en gaz naturel purifié et chauffé. Il comprend des skids pour la filtration, le réchauffage à 40°C, le comptage du débit, la régulation de pression ($P(60 \rightarrow 28\text{bar})$) et une filtration finale avant l'entrée dans la turbine.

3.1.6 Système électrique :

L'alternateur synchrone bipolaire triphasé est relié à la turbine à gaz via un arbre intermédiaire et refroidi par un circuit fermé air-eau. Il est connecté au transformateur principal par un jeu de barres sous gaine (IPB). Un disjoncteur alternateur permet le couplage du groupe au réseau haute tension.

➤ Alternateur de la turbine à gaz :

L'alternateur triphasé (50WY21Z-095) de 200 MVA, 14.5 kV, 50 Hz, inclut un disjoncteur SF6, une excitatrice à balais, un système de refroidissement et une cellule de point neutre.

➤ Système d'évacuation d'énergie :

Le transformateur principal (14.5/220 kV) alimente, via un poste 220 kV, plusieurs transformateurs (excitation, soutirage, auxiliaires, démarrage). Le site inclut trois générateurs Diesel de secours ($3 \times 2.25 \text{ MW}$).



Figure 13. Transformateur principale

➤ **Poste avancé blindé 220 KV :**

Le poste avancé 220 kV, à double jeu de barres avec disjoncteur de couplage, relie les groupes au poste HT de RELIZANE. Il comprend deux travées d'arrivée, deux de départ, une travée de couplage, ainsi que des équipements auxiliaires : tableau basse tension, distribution CC, chargeurs de batteries, onduleurs, batteries et armoires de protection..

3.1.7 Système mécanique commun :

Le système mécanique commun comprend l'alimentation en gaz naturel et gaz oïl, la surveillance des NOx, l'alimentation en eau (incendie, traitée, usée, sanitaire) et une station d'air comprimé.

3.1.8 Système de tuyauterie :

Le système de tuyauterie comprend les circuits de combustible, huile, eau (réfrigération, incendie, alimentation, usées), air comprimé, CO2 et divers (purgés, événements, drainage).

La station d'eau déminéralisée comprend une grande et une petite unité, ainsi que des réservoirs de stockage.

3.1.9 Station fuel (secours) :

La station fuel de secours comprend 4 réservoirs (7000 m³ chacun), 6 skids de pompes (66-83 m³/h, 10 bars), et 3 sections de préchauffage (44 m³/h, 365 kW).

Station d'air comprimé :

La station d'air comprimé ATLAS COPCO comprend 4 compresseurs (1 bar abs, 9.5 bar, 30 °C) et 4 sècheurs (1 bar abs, 11 bar, 35 °C).

3.1.10 Organigramme de la société :

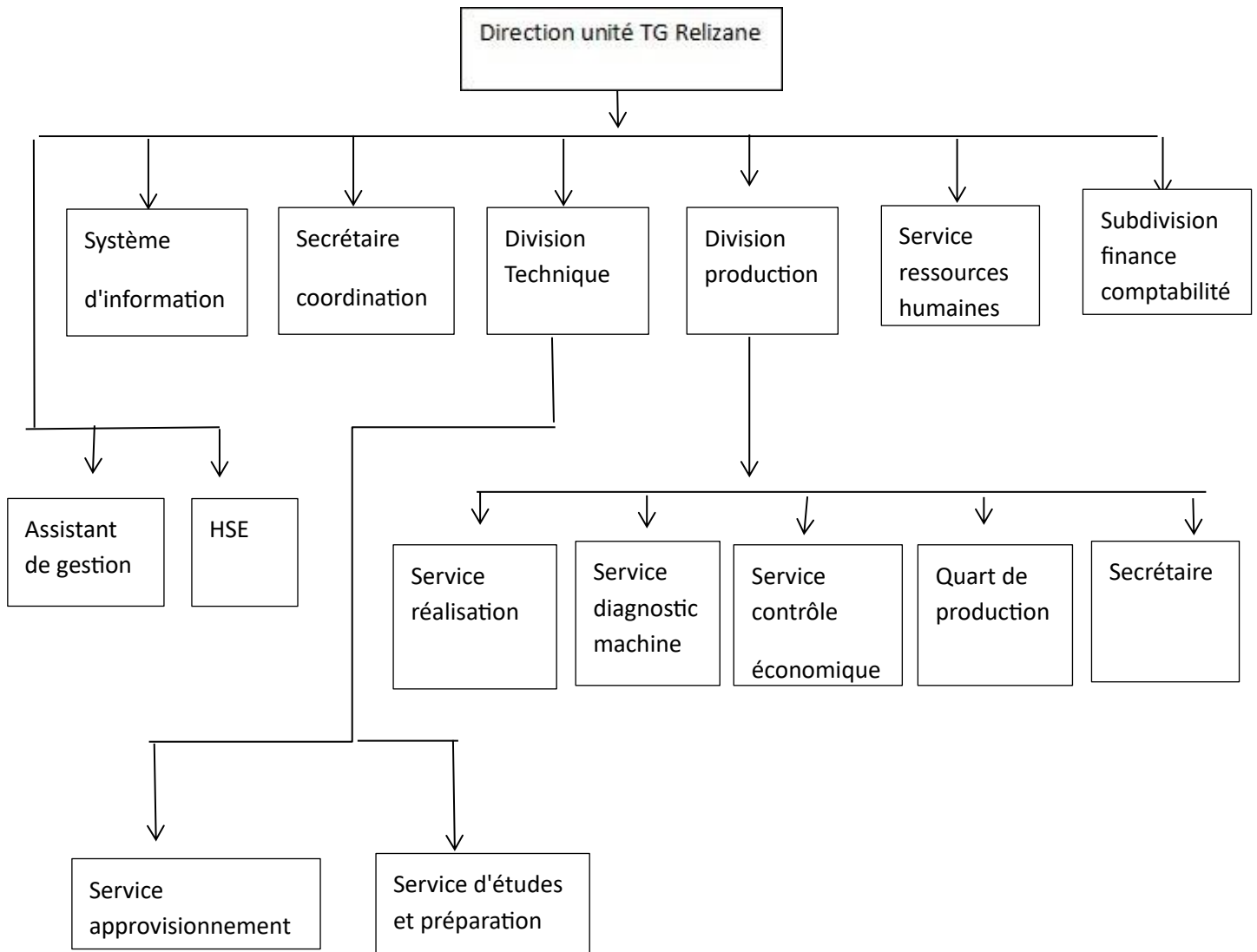


Figure 14. L'organisation de l'unité de production d'électricité TG Relizane

3.2 Les Turbines :

3.2.1 Généralités sur les turbines :

Les turbines sont des équipements mécaniques rotatifs dont la fonction « moteur » permet d'entraîner des pompes, compresseurs ou générateurs électriques dans l'industrie pétrolière [D'une manière générale], les turbomachines peuvent être définies comme des appareils permettant un échange d'énergie entre un fluide et un dispositif mécanique. L'énergie motrice du système pouvant être aussi bien fournie par le fluide que par le dispositif mécanique, le nombre de turbomachines que nous pouvons rencontrer dans notre quotidien s'en trouve fortement accru. Ainsi, la famille des turbomachines est composée par les ventilateurs, compresseurs, éoliennes, pompes, turbines [16]

3.2.2 Classification des Turbine à Gaz :

On peut classer les turbines selon différents points:

- ✓ Par le mode de travail.
- ✓ Par le mode de fonctionnement thermodynamique.
- ✓ Par le mode de construction. [16]

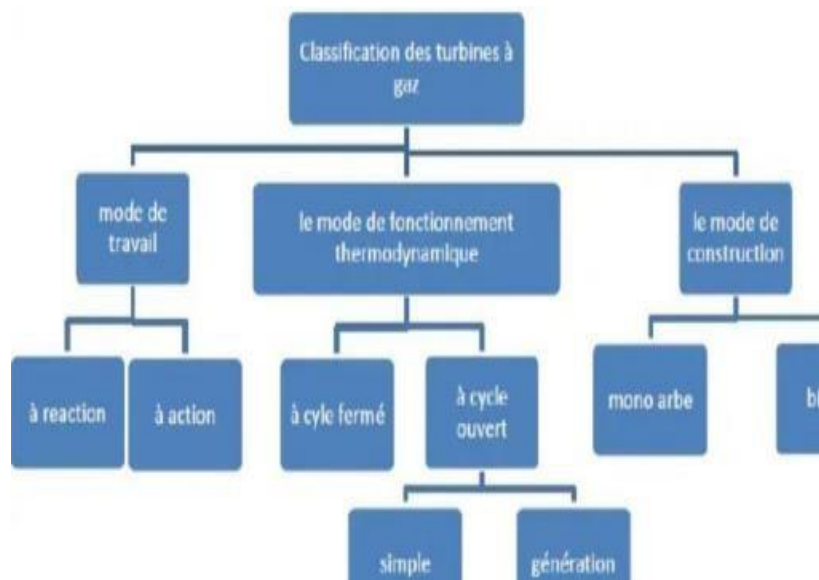


Figure 15. Classification des turbines

□ D'après le mode de construction:

✓ **Turbine mono-arbre :**

Le compresseur et les sections de la turbine de ces machines se composent d'un seul rotor simple, où la turbine produit l'énergie pour entraîner le compresseur ainsi que l'énergie pour entraîner la charge. Les turbines à un seul arbre sont favorables dans le cas où la charge est constante. Les turbines à gaz à un seul arbre sont aptes à l'entraînement des machines qui fonctionnent à vitesse constante. Telle que les alternateurs et, pour cette raison, sont employées dans la génération d'énergie électrique.

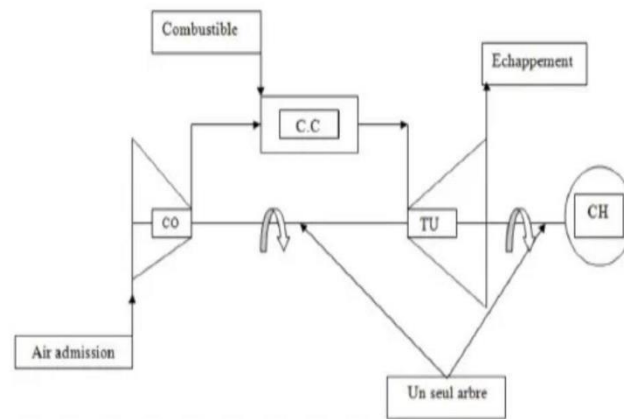


Figure 16. Schéma d'une turbine à gaz mono-arbre

✓ **Turbine bi-arbre :**

La turbine à gaz se compose de deux roues turbines indépendantes mécaniquement. La roue turbine HP entraîne le rotor du compresseur axial et les accessoires, tandis que la roue BP deuxième étage sert à entraîner l'organe récepteur (ex: les compresseurs).

Le but des roues turbines non reliés est de permettre aux deux roues de fonctionner à des vitesses différentes pour satisfaire aux exigences de charge variable de l'organe récepteur [16]

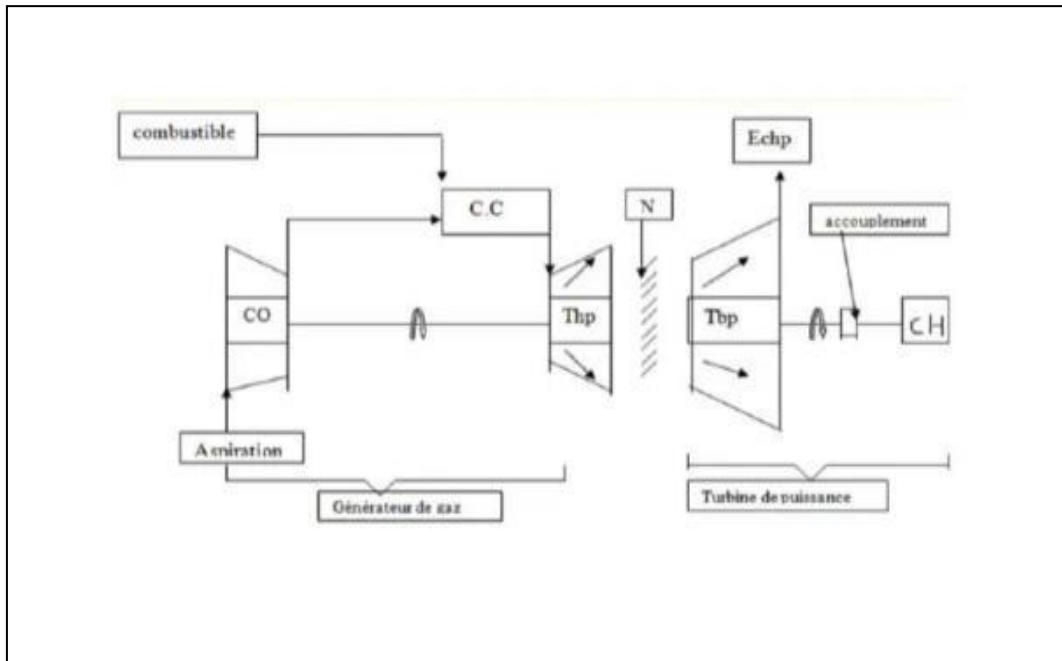


Figure 17. Schéma d'une turbine à gaz deux arbre

3.2.3 Avantages et inconvénients des Turbines à Gaz :

□ Les Avantages :

- Une puissance élevée concentrée dans un espace réduit, inaccessible à un groupe diesel de même puissance.
- A l'exception de démarrage et arrêt, la puissance est produite d'une façon continue.
- Démarrage facile même à grand froid.
- Diversité de combustible pour le fonctionnement.
- Possibilité de fonctionnement à faible charge.

□ Les Inconvénients

- Au-dessous d'environ 3000KW, prix d'installation supérieur de celui d'un groupe diesel temps de lancement beaucoup plus long que celui d'un groupe diesel à titre indicatif: 30 à 120s pour une turbine, 8 à 20 s pour un groupe diesel. Rendement inférieur à celui d'un moteur diesel (cycle simple). Attitude indicatif: 28 à 33% pour une turbine de 3000KW, 32 à 38% pour un groupe diesel . [16]

3.3 La Turbine à GAZ Gt13 e2 :

3.3.1 Définition de la TG :

La turbine à gaz est composée de 3 éléments faisant partie du processus: **un compresseur, une chambre de combustion et la turbine** elle-même.

La turbine convertit l'énergie chimique du combustible en énergie mécanique au niveau de l'accouplement et constitue le premier mécanisme entraînant l'alternateur. La turbine est entraînée par un gaz de combustion chaud comprimé qui fait tourner les ailettes montées sur le rotor. Le gaz de combustion passe par la turbine avant d'être déchargé dans l'atmosphère. On le désigne alors par le terme gaz d'échappement. Le gaz de combustion entraînant la turbine est fourni par la chambre de combustion qui est une enceinte fermée et pressurisée dans laquelle de l'air et un combustible gazeux ou liquide sont continuellement brûlés.

L'air sous pression nécessaire pour la combustion est fourni par le compresseur, ce dernier étant entraîné par la turbine par l'intermédiaire d'un arbre commun. L'air se trouvant dans le compresseur est pressurisé grâce à l'aubage fixes et rotatif. Le débit du combustible passant dans la chambre de combustion est contrôlé par le réglage approprié des vannes de régulation qui peuvent être placées sur n'importe quelle position entre la position entièrement ouverte et entièrement fermée.

3.3.2 Les composants principaux d'installation de la TG :

L'installation turbine à gaz complète comprend tous les systèmes, composants et dispositifs nécessaires pour assurer un fonctionnement sûr et rentable de l'installation. Les composants principaux d'une installation à turbine à gaz sont illustrés sur la figure 18. Ils sont désignés par la KKS des. (KKS est une abréviation allemande du système de désignation des centrales électriques. Toutes les centrales électriques ALSTOM utilisent le système d'identification KKS (figure 18).

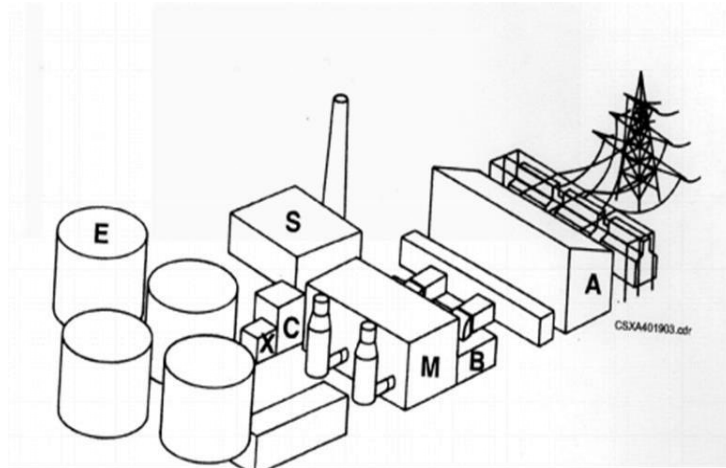


Figure 18. principaux composants d'une installation à turbine à gaz

3.3.2.1 Légende :

A : Réseau et système de distribution d'électricité.

B : Transmission électrique et alimentation électrique auxiliaire.

C : Équipement d'instrumentation et de contrôle (I C).

E : Système d'alimentation en combustible et équipement d'élimination des résidus. M : Groupes de machines principaux.

S : Systèmes auxiliaires.

X : Machinerie lourde ne faisant pas partie des groupes de machines principaux

3.3.2.2 Groupes de machines principaux (M) :

Les groupes de machines principaux se chargent de toutes les conversions énergétiques et constituent le noyau de la centrale électrique. Ils comprennent des d'alternateurs à une ou plusieurs turbine à gaz.

3.3.2.3 Réseau & systèmes de distribution (A) :

Le réseau de distribution raccorde les machines au réseau électrique via équipements de commutation (1-420 kV), instruments de mesure, répartiteurs, panneaux et transformateurs.

3.3.2.4 Alimentation en combustible et équipement d'élimination des résidus (E) :

Le système gère le stockage, le traitement, la distribution du combustible et l'élimination des résidus via dépotage, pompage, tuyauterie, chauffage et stockage.

3.3.2.5 Équipement d'instrumentation et de contrôle (I&C) :

L'équipement I&C est chargé du fonctionnement, du contrôle et de la supervision de la totalité de l'installation à turbine à gaz.

L'équipement I&C comprend:

Armoires de protection, commande, signalisation, mesure, contrôle, surveillance, alarmes et salles de contrôle

3.3.2.6 Systèmes auxiliaires (S) :

Les systèmes auxiliaires assurent le chauffage, la ventilation, l'air comprimé, le nettoyage, la protection incendie, le gaz de soudage, le levage et les infrastructures.



Figure 19. Systèmes auxiliaires (S)

3.3.2.7 Machinerie lourde (X) :

La machinerie lourde assure l'alimentation d'urgence via alternateurs diesel, turbine à gaz ou moteur à gaz.

3.3.3 Description du fonctionnement :

L'alimentation en énergie électrique à partir d'une installation à turbine à gaz implique l'utilisation d'une turbine à gaz, d'un alternateur, d'une excitatrice, d'une traversée pour l'alternateur, d'un disjoncteur pour

l'alternateur et d'un transformateur survolteur du l'alternateur. Le rôle de chacun de ces éléments est décrit brièvement par la suite.

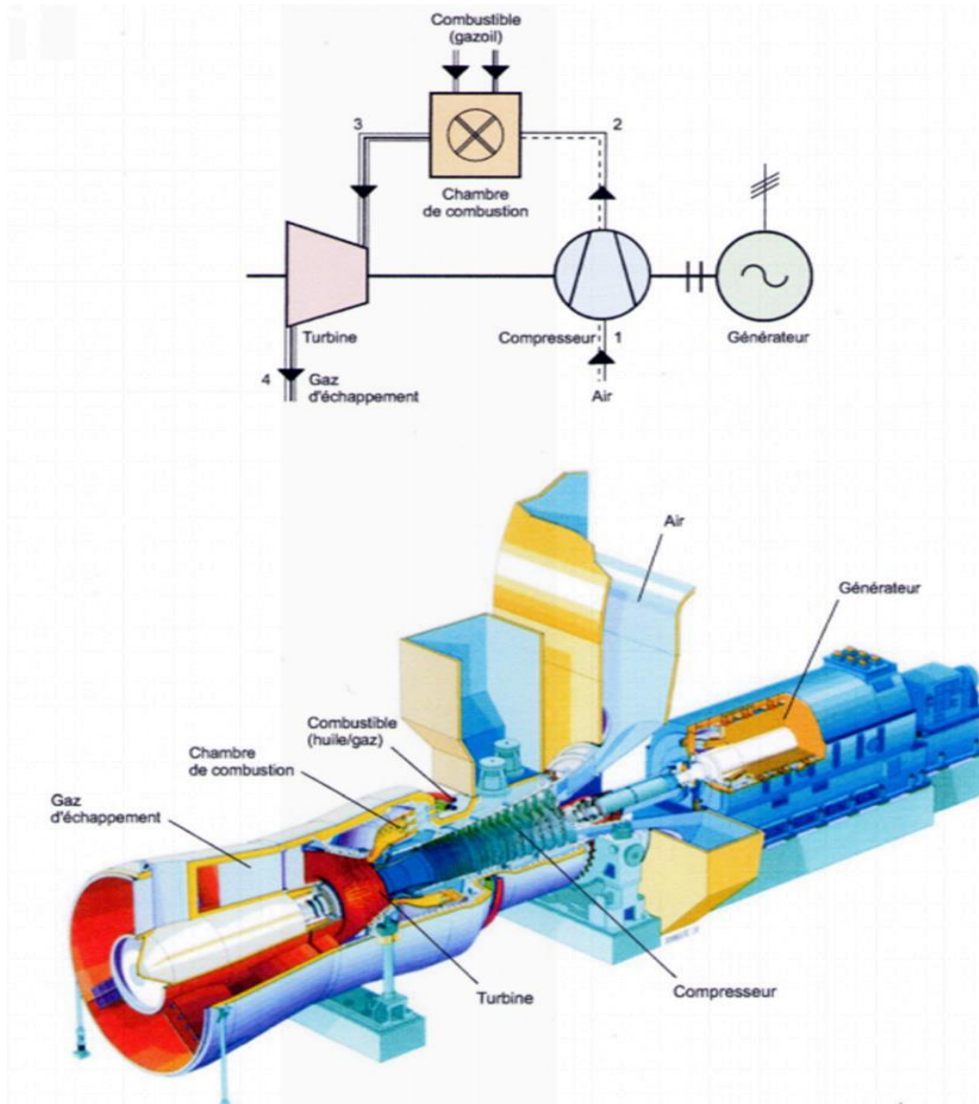


Figure 20. fonctionnement de turbine à gaz

L'alternateur transforme l'énergie mécanique de la turbine en électricité grâce à un rotor et un stator. Le courant d'excitation, régulé par l'AVR, maintient la tension et la synchronisation avec le réseau.

L'excitatrice, qu'elle soit statique ou sans balais, fournit le courant continu nécessaire au champ magnétique du rotor.

Les gaines coaxiales assurent le transfert de la haute tension produite par le stator vers l'extérieur.

Le disjoncteur de groupe relie électriquement l'alternateur au transformateur survolteur.

Enfin, le transformateur de puissance adapte la tension de l'alternateur à celle requise par le réseau électrique.



Figure 21. Transformateurs Auxiliaire et de Démarrage

3.3.4 Processus de base de la turbine à gaz :

Le processus qui se passe dans le turboalternateur à gaz est représenté par des symboles dans la partie supérieure de **la figure 20**. Les différentes étapes du principe de fonctionnement du turboalternateur à gaz sont décrites ci-dessous:

- De l'air est aspiré de l'atmosphère extérieure, pressurisé dans le compresseur et expulsé dans la chambre de combustion.
- Le combustible et l'air sont continuellement brûlés dans la chambre de combustion et du gaz de combustion chaud et sous pression est fourni à la turbine.
- Le gaz de combustion se dilate dans la turbine où il entraîne la ligne d'arbres complète composée du rotor turbine - compresseur et du rotor de l'alternateur. Le gaz est ensuite expulsé dans l'atmosphère.
- L'alternateur fournit de l'énergie électrique en continu.

La partie inférieure de la figure 3 représente un écorché d'un turboalternateur à gaz fonctionnant comme cela est décrit ci-dessus. La corrélation entre les

symboles du processus et le turboalternateur lui-même peut ainsi être facilement.

3.3.4.1 Équipement de contrôle :

En plus de l'équipement de base de la centrale électrique décrit ci-dessus, un équipement de contrôle et de protection est également nécessaire pour garantir un fonctionnement correct et en toute sécurité de la centrale électrique. L'équipement de contrôle et de protection de base du turboalternateur est brièvement décrit ci-dessous.

Les mots figurant entre parenthèses indiquent des marques déposées des produits ALSTOM.

3.3.4.2 Système de séquençement de la turbine (Egatrol) :

Le système d'automatisation superposé est utilisé pour démarrer, charger et stopper automatiquement l'ensemble de l'alternateur à turbine à gaz et ses dispositifs auxiliaires. Par exemple, dans le mode de démarrage, Egatrol démarre les systèmes d'huile de lubrification de canarde de lubrification, et le circuit d'huile de soulèvement, lance et accélère le turboalternateur à gaz jusqu'à la vitesse synchrone et charge l'unité à la valeur désirée.

Lors de ces opérations, les limitations de protection de fonctionnement Alstom sont respectées.

3.3.4.3 Système de séquençement de la turbine (Egatrol) :

Le système d'automatisation superposé est utilisé pour démarrer, charger et stopper automatiquement l'ensemble de l'alternateur à turbine à gaz et ses dispositifs auxiliaires. Par exemple, dans le mode de démarrage, Egatrol démarre les systèmes d'huile

3.3.4.4 Équipement de synchronisation (SYNCHROTACT) :

Cet équipement automatisé adapte la tension de sortie, la fréquence et la phase de l'alternateur à celles du réseau. Le disjoncteur de l'alternateur se ferme lorsque la synchronisation a été effectuée. L'équipement de synchronisation interagit généralement avec Egatrol et le régulateur automatique de tension.

3.3.4.5 Équipement de protection de l'alternateur :

L'équipement de protection de l'alternateur protège l'alternateur et son équipement associé des défauts d'origine électrique. Lorsque l'équipement est activé, le disjoncteur de l'alternateur est immédiatement ouvert, les vannes d'arrêt et de régulation principales sont fermées.

3.3.5 Arrangement et équipement typique de SPE :

Le système typique d'une installation à turbine à gaz SPE repose sur un concept modulaire, permettant une installation aussi bien en extérieur qu'en intérieur. Le fonctionnement repose sur plusieurs composants essentiels. Le système d'admission d'air fournit de l'air filtré au compresseur, point de départ du cycle thermique. Le bloc thermique, cœur de l'installation, regroupe le compresseur, la chambre de combustion et la turbine, convertissant l'énergie chimique du combustible en énergie mécanique. Un système de vannes anti-pompage évacue l'excès d'air lors du démarrage et de l'arrêt, assurant la sécurité du compresseur. Les gaz d'échappement sont ensuite évacués par une cheminée verticale dotée d'un silencieux. L'alternateur, couplé à une excitatrice, transforme l'énergie mécanique en électricité, ensuite transmise via un transformateur de puissance qui adapte la tension au réseau. L'installation comprend également des groupes auxiliaires : systèmes d'huile (lubrification, commande, soulèvement), groupes de gaz et gasoil pour alimenter les vannes, groupe eau NOx pour réduire les émissions polluantes, aéroréfrigérants pour refroidir les huiles, et des modules électriques et de commande pour la régulation, la protection et la synchronisation. Enfin, le tout est intégré dans un local technique avec grue, facilitant la maintenance grâce à une structure métallique équipée de rails et de levage.

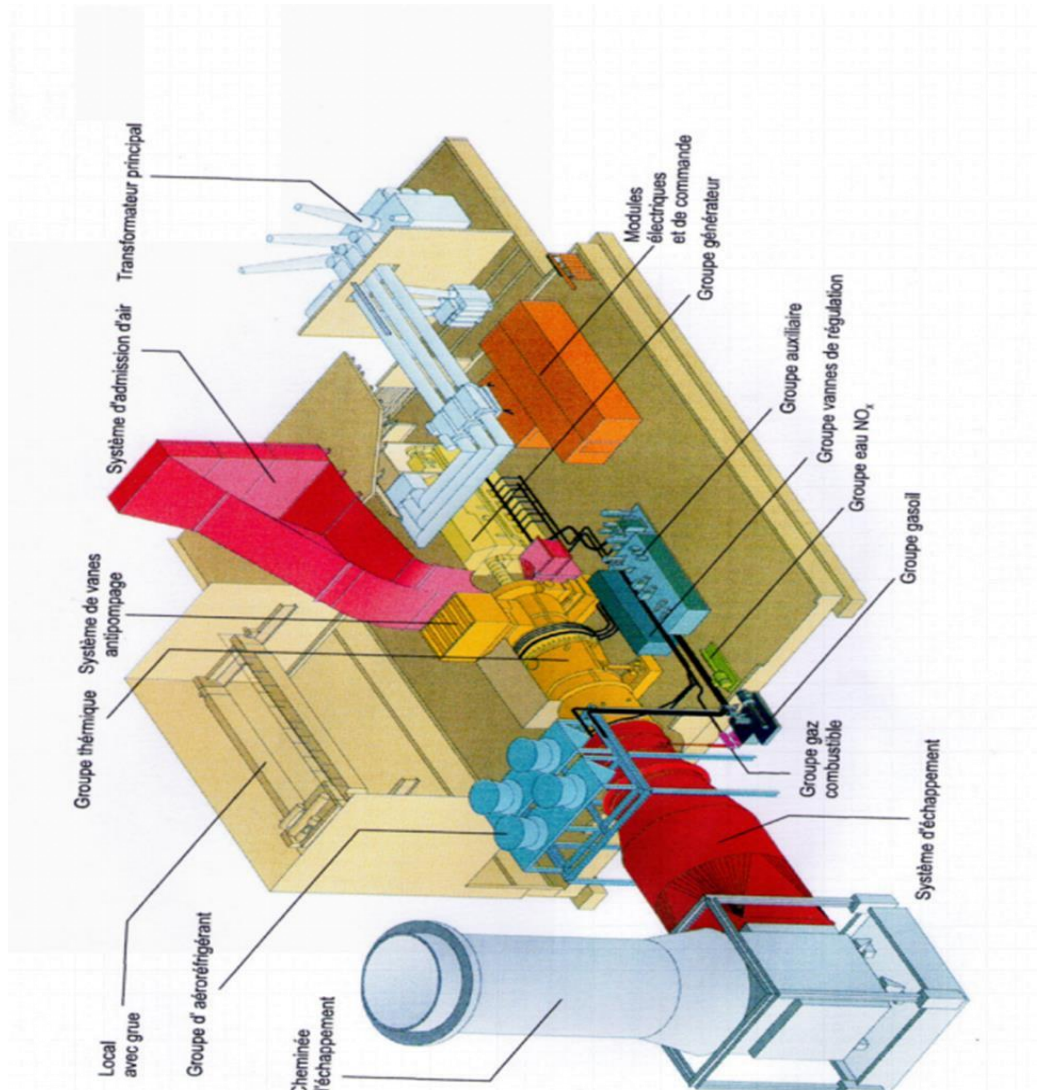


Figure 22. Arrangement standard typique d'une turbine à gaz

3.3.6 Caractéristiques techniques :

Les caractéristiques techniques de l'installation à turbine à gaz sont généralement fournies pour les catégories mentionnées ci-dessous.

- **La puissance électrique fournie brute** : est la puissance électrique délivrée par l'alternateur, mesurée au niveau des traversées de ce dernier. L'unité usuelle de la puissance électrique fournie est le mégawatt (MW).

- **Le rendement brut** : est le quotient de la puissance électrique fournie et de la puissance d'entrée du combustible. Ce rendement est toujours inférieur à 1 et s'exprime en pourcentages (%). Il n'a pas d'unité.
- **La consommation spécifique** : est la valeur inverse du rendement brut. Il représente la quantité d'énergie calorifique nécessaire pour produire une unité d'énergie électrique. L'unité usuelle est kJ / kWh
- **La fréquence** : est la vitesse de répétition d'un phénomène périodique. Dans une installation à turbine à gaz, elle s'applique au courant alternatif de l'alternateur. L'unité usuelle de la fréquence est Hertz (Hz).
- **Émissions NOx**: le processus de combustion d'air et de combustible produit des substances polluantes, appelées émissions de gaz d'échappement. Parmi ces émissions, l'une des plus dangereuses est l'oxyde d'azote (NOx), quantifié en parties par million (ppm).

3.4 Les pannes possibles :

Catégorie	Pannes	Causes
1. Pannes mécaniques	Blocage du rotor de la TG	Rotor TG immobilisé (grippage, lubrification insuffisante, obstruction, défaillance des paliers).
	Fissures ou rupture d'aubes	Cycles thermiques excessifs, chocs mécaniques, défaut de matériau.
	Blocage du compresseur	Présence d'objets étrangers (FOD), encrassement, mauvais alignement des aubes.

2. Pannes Thermiques	Surchauffe de la chambre de combustion	Mauvaise répartition du carburant, encrassement des injecteurs problème de refroidissement.
	Fissuration thermique des composants	Cycles de mise en marche/arrêt fréquents, stress thermique.
3. Pannes Électriques et de Contrôle	Défaut communication MODBUS SFC-AVR	Câblage défectueux, interférences, panne ou erreur de configuration.
	Défaut circuit de mesure instrument	Circuit de mesure de l'instrument perturbé (mauvais câblage, interférences électriques, capteur défectueux).
	Problèmes de régulation	Dysfonctionnement du PLC/DCS, défaut de programmation, panne d'actionneurs.
4. Pannes de Lubrification et d'Air	Défaillance du système de détection et dépassement du seuil de gaz	Détection gaz hors service, accumulation anormale dépassant les seuils de sécurité.
	Manque d'air pour la combustion et insuffisance de lubrification.	Défaut d'alimentation en air ou en lubrification, affectant la combustion et le bon fonctionnement des composants mécaniques.
5. Pannes d'Exploitation et de Sécurité	Incendie détecté	Incendie détecté en zone critique (surchauffe, court-circuit, fuite carburant, accumulation huile/gaz).

	Surconsommation de carburant	Encrassement des injecteurs, défaut d'étanchéité, mauvaise combustion.
--	------------------------------	--

Table 2. Les pannes possibles de la turbine à gaz gt13e2

3.5 Conclusion :

La Turbine à gaz représente une avancée significative dans le domaine de la production d'énergie, alliant performance et durabilité. Avec une conception innovante, elle maximise la conversion d'énergie, garantissant une production électrique efficace. Équipée de systèmes de contrôle modernes, la TG permet une gestion précise des opérations, optimisant ainsi les performances tout en minimisant les coûts d'exploitation. Sa robustesse assure une longévité accrue, réduisant les besoins en maintenance et les temps d'arrêt. De plus, cette turbine s'adapte facilement à divers systèmes énergétiques, que ce soit pour la production d'électricité ou la cogénération. En conformité avec les normes environnementales, la TG contribue à une réduction des émissions, s'inscrivant ainsi dans une démarche respectueuse de l'environnement. En somme, elle constitue une solution efficace et durable pour répondre aux besoins énergétiques contemporains.

Chapitre IV :

Analyse de la fiabilité de TAG

gt13e2

4 Introduction :

Ce chapitre est consacré à l'analyse de la fiabilité de la turbine à gaz Gt13e2, composant essentiel dans le fonctionnement des centrales électriques à cycle combiné. L'objectif principal est d'évaluer le comportement de cette machine en termes de performance, de disponibilité et de fréquence des défaillances. Pour ce faire, une étude approfondie de l'historique des pannes a été réalisée, permettant d'identifier les principaux types de défaillances rencontrées et d'en déterminer les causes. Ensuite, une modélisation statistique de la fiabilité a été entreprise, notamment à travers l'application de la loi de Weibull, afin de mieux comprendre l'évolution du taux de défaillance au fil du temps. Cette analyse vise non seulement à établir un diagnostic précis de la fiabilité de la Gt13e2, mais aussi à proposer des pistes d'optimisation pour améliorer sa disponibilité et réduire les interruptions de service.

Pendant cette étude de fiabilité de la turbine Gt13e2, l'outil statistique Minitab sera utilisé pour analyser les données de temps de défaillance et effectuer les différentes analyses nécessaires

4.1 Etude de la fiabilité de la turbine à GAZ gt13e2 :

Le tableau suivant représente l'historique des pannes de TAG Gt13e2 sur une période de 10 ans :

N	Date de démarrage	Date d'arrêt	TBF (heures)	TTR (heures)	Cause de la panne	Action corrective
1	18/11/2015 08:00	23/07/2016 14:30	4832	9	Surchauffe	Nettoyage du circuit de refroidissement

2	09/08/2016 07:45	05/09/2017 18:10	7776	10	Rotor TG immobilisé (grippage, lubrification insuffisante)	Vérification des paliers et lubrification
3	12/09/2017 06:30	20/02/2018 22:00	3248	8	Présence d'objets étrangers (FOD), encrassement, mauvais alignement des aubes	Nettoyage et recalibrage des aubes
4	11/03/2018 09:15	04/12/2018 16:45	5020	7	Perte de pression d'huile	Remplacement de la pompe
5	15/12/2018 10:00	20/06/2019 13:20	6920	9	Circuit de mesure perturbé (capteur défectueux, interférences électriques)	Remplacement du capteur et blindage du circuit

6	01/07/2019 09:30	30/08/2020 19:50	5174	11	Détection gaz hors service, accumulation dépassant seuils de sécurité	Remplacement détecteur et purge des gaz
7	23/10/2020 08:15	24/07/2021 21:10	6402	12	Vibration anormale	Changement des roulements

8	29/07/2021 06:45	05/02/2022 23:30	4480	14	Incendie détecté en zone critique (surchauffe, court-circuit, fuite carburant)	Extinction, inspection des circuits électriques
9	27/03/2022 09:00	07/11/2022 15:40	3672	9	Encrassement des injecteurs, défaut d'étanchéité, mauvaise combustion	Nettoyage injecteurs et contrôle d'étanchéité
10	20/11/2022 07:20	25/05/2023 17:25	5400	11	Blocage soupape de sécurité	Démontage et réparation

11	09/06/2023 08:40	18/01/2024 20:15	5089	9	Défaut d'alimentation en air ou lubrification, affectant la combustion	Vérification des conduites d'air et lubrification
12	26/01/2024 10:30	13/09/2024 22:00	6296	12	Câblage défectueux, interférences, panne ou erreur de configuration	Vérification et remplacement du câblage

Table 3. Historique des pannes de TAG gt13e2

4.2 Calcul temps de bon fonctionnement :

Après l'exploitation du dossier historique des pannes de TAG gt13e2, on peut calculer la Moyenne des temps de bon fonctionnement (MTBF) de manière suivante :

$$MTBF = \frac{\sum \text{les temps de bon fonctionnement}}{\sum \text{les pannes}} \quad (4.1)$$

$$MTBF = \frac{3248 + 3672 + 4480 + 4832 + 5020 + 5089 + 5174 + 5400 + 6296 + 6402 + 6920 + 7776}{12}$$

La moyenne des temps de bon fonctionnement :

MTBF=5359.08heures/panne

4.2.1 Classement de TBF calcul F (ti) :

Le tableau suivant comporte les TBF classés par ordre croissant, et les F(i) calculés par la Méthode des ranges médians

$$f = \frac{\sum ni - 0.3}{N + 0.4}$$

(Dans notre cas N = 10 < 20) pour trace la courbe de Weibull :

N°	TBF(h)	N	$\sum ni$	F (ti)	F (ti) %
1	3248	1	1	0.0564	5.064
2	3672	1	2	0.1370	13.70
3	4480	1	3	0.2177	21.77
4	4832	1	4	0.2983	29.83
5	5020	1	5	0.3790	37.90
6	5089	1	6	0.4596	45.96
7	5174	1	7	0.54032	54.032
8	5400	1	8	0.62096	62.096
9	6296	1	9	0.70161	70.161
10	6402	1	10	0.78225	78.225
11	6920	1	11	0.86290	86.290
12	7776	1	12	0.94354	94.354

Table 4.Classement de TBF calcul F (ti)

4.3 Estimation des paramètres de la loi Weibull (η , β , γ) :

Pour faciliter le calcul des paramètres de la distribution de Weibull, nous avons utilisé le Logiciel Minitab.

4.3.1 Présentation générale de Minitab :

- Minitab est un logiciel d'analyse statistique largement utilisé dans divers domaines, notamment la qualité, l'amélioration des processus et la recherche scientifique. Il est

particulièrement prisé par les professionnels en Six Sigma les ingénieurs qualité et les analystes de données pour faciliter l'analyse et l'interprétation des données. Pour le système d'exploitation Windows, Minitab offre la possibilité de réaliser plusieurs opérations :

- Analyser des données à travers des graphiques et présenter les résultats
- Effectuer des analyses statistiques
- Évaluer la qualité
- Concevoir des plans d'expériences
- Automatiser les analyses futures grâce à l'utilisation de raccourcis
- Explorer des données à l'aide de graphiques
- Calculer la fiabilité en utilisant diverses méthodes et la représenter graphiquement

4.3.2 L'environnement de Minitab :

a) La Feuille de Données (Worksheet) :

- C'est l'espace principal où l'on saisit et manipule les données, similaire à une feuille de calcul Excel.
- Les colonnes sont appelées C1, C2, C3... et peuvent contenir des données numériques, textuelles ou des dates.
- Possibilité d'importer des données depuis Excel, CSV ou d'autres sources.

b) La Fenêtre de Session (Session Window) :

- Affiche les résultats des analyses statistiques sous forme de texte.
- Contient des messages d'erreur, des résumés statistiques et des interprétations des analyses effectuées.

c) La Fenêtre Graphique (Graph Window)

- Affiche les graphiques et visualisations générés (histogrammes, boîtes à moustaches, diagrammes de Pareto, etc.).
- Chaque graphique s'ouvre dans une fenêtre séparée pour faciliter la personnalisation et l'analyse.

d) La Barre de Menu et les Outils Rapides

- Barre de menu : Contient des options pour importer des données, exécuter des analyses statistiques, générer des graphiques, etc.

- Barre d'outils rapide : Accès direct aux fonctionnalités courantes comme l'ouverture de fichiers, l'enregistrement, l'impression, etc.

e) Le Gestionnaire de Projet (Project Manager)

- Permet d'organiser toutes les analyses, graphiques et données en un seul endroit.
- Facilite la navigation entre les différentes étapes d'une étude statistique

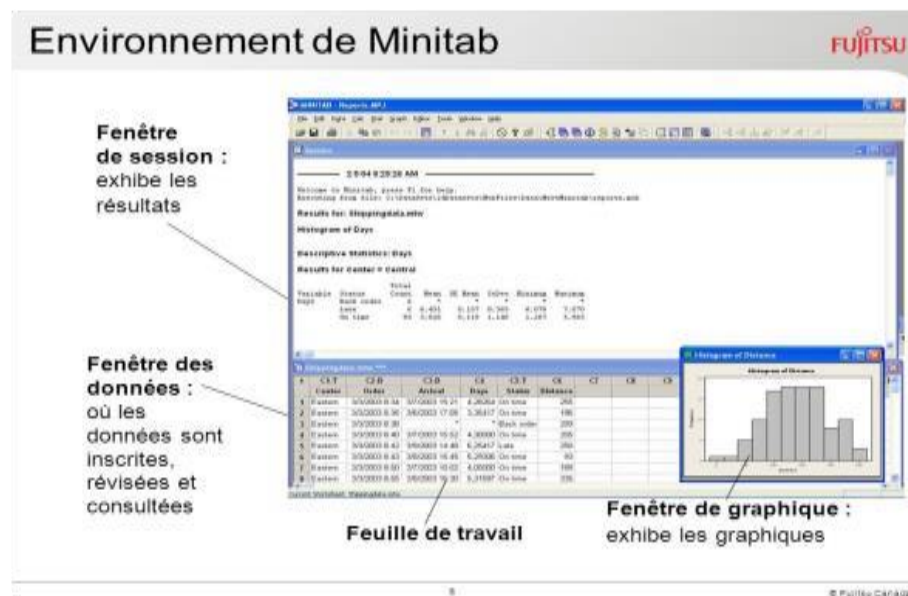


Figure 23. Environnement de Minitab.

4.3.3 Examen de la feuille de travail :

Les données sont organisées en colonnes, également désignées sous le nom de variables. Le numéro et le nom de chaque colonne apparaissent en haut de celles-ci. Chaque ligne de la feuille de travail correspond à un enregistrement. Le logiciel "Minitab" prend en charge trois types de données : numériques, texte et date/heure. Ces trois types de données sont présents dans cette feuille de travail

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

Figure 24. Examen d'une feuille de travail

4.3.4 Représentation graphique des données :

Il est recommandé d'explorer les données à l'aide de graphiques avant de procéder à une analyse statistique, afin d'examiner les relations entre les variables. Les graphiques permettent également de résumer les données et de faciliter l'interprétation des résultats statistiques. Dans Minitab, vous pouvez accéder aux graphiques via les menus Graphique et Statistique. De plus, de nombreuses fonctions statistiques intègrent des graphiques qui aident à interpréter les résultats et à évaluer la validité des hypothèses statistiques. Les graphiques de Minitab offrent plusieurs fonctionnalités pratiques pour faciliter leur utilisation. Ils incluent des galeries d'images qui vous aident à choisir le type de graphique le plus adapté à vos données. Vous bénéficiez également d'une grande flexibilité dans la personnalisation des graphiques, ce qui vous permet de les ajuster selon vos préférences. De plus, les éléments graphiques sont modifiables en fonction de vos besoins spécifiques, et il est possible de mettre à jour automatiquement les graphiques pour refléter les changements dans les données.

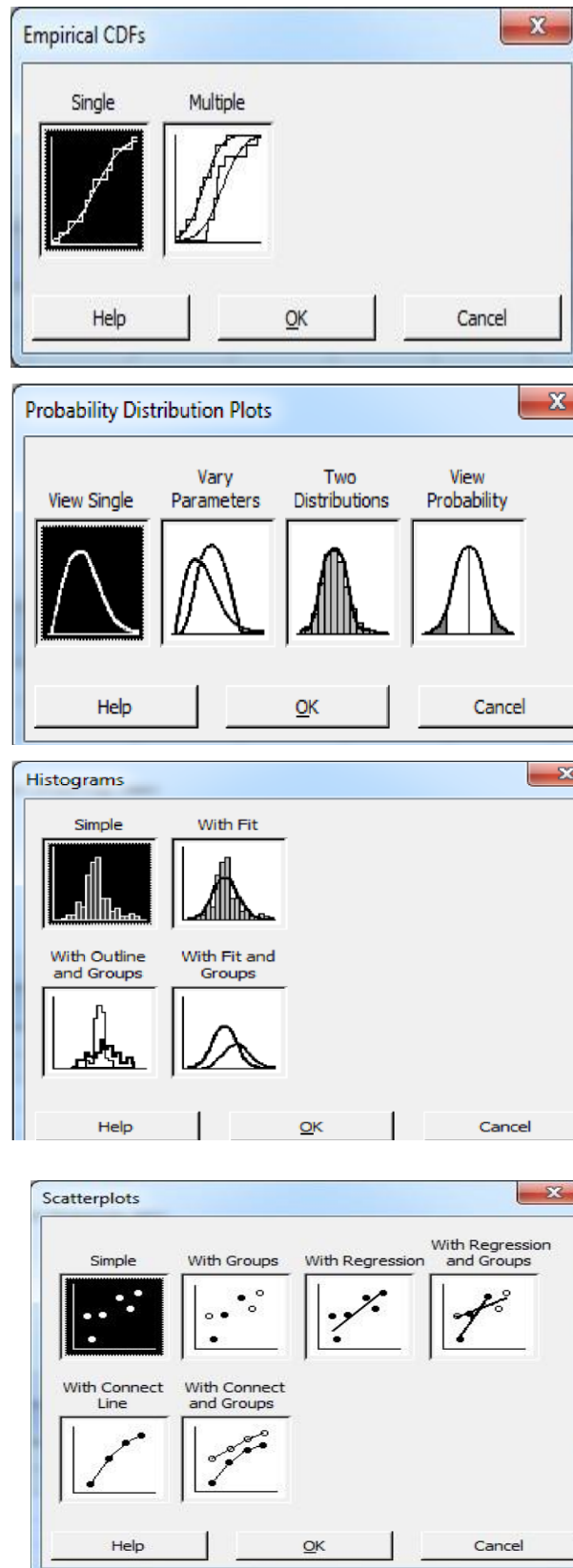


Figure 25. Représentation graphiques des données

4.4 Étude de la loi de Weibull :

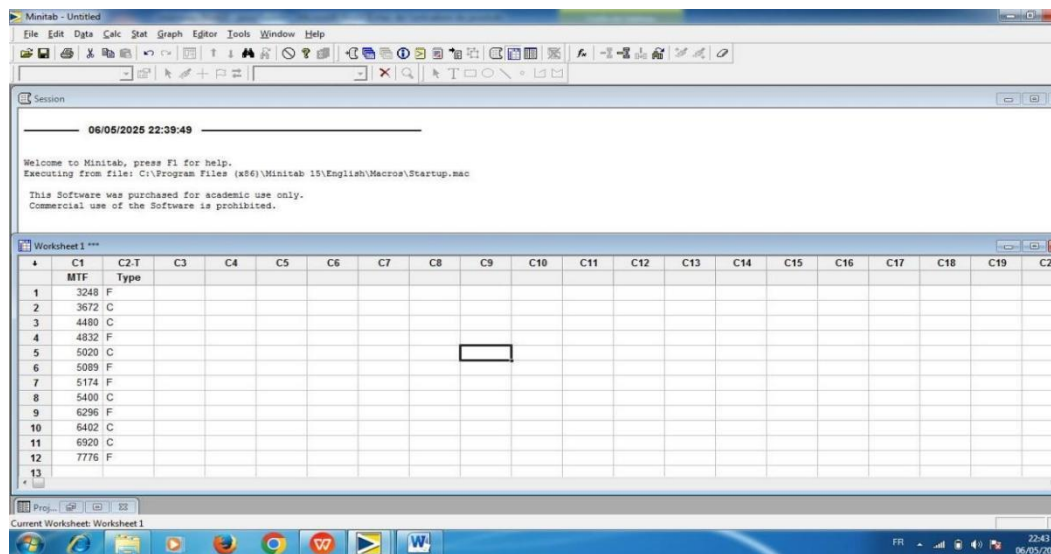
Le déroulement de l'étude passe par les étapes suivantes :

Étape 1 : Ouvrir Minitab avec ton fichier Assure-toi

que:

Colonne C1 contient les temps de défaillance (MTTF).

Colonne C2 contient F (Failure) ou C (Censored), comme tu l'as déjà fait.



The screenshot shows the Minitab software interface. The 'Session' window at the top displays the date and time (06/05/2025 22:39:49) and a welcome message. Below it, the 'Worksheet1' window shows a data table with columns C1 to C20. Column C1 is labeled 'MTF' and contains numerical values. Column C2 is labeled 'Type' and contains categorical values 'F' (Failure) or 'C' (Censored). The data is as follows:

	C1	C2-T	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
1	3248	F																		
2	3672	C																		
3	4480	C																		
4	4832	F																		
5	5020	C																		
6	5089	F																		
7	5174	F																		
8	5400	C																		
9	6296	F																		
10	6402	C																		
11	6920	C																		
12	7776	F																		
13																				

Figure 26. Feuille de travail

Étape 2 : Lancer l'analyse Va

dans le menu :

1. Stat > Reliability/Survival > Distribution Analysis (Right Censoring) > Distribution ID plot.

2. Dans la fenêtre qui s'ouvre :

Failure time → choisis la colonne C1 (MTF).

Censor column → choisis la colonne C2 (Type). Laisse l'option Right Censoring cochée.

3. Clique sur Distribution... et choisis Weibull (par défaut c'est souvent sélectionné, mais vérifie bien). 4. Clique sur «OK.»

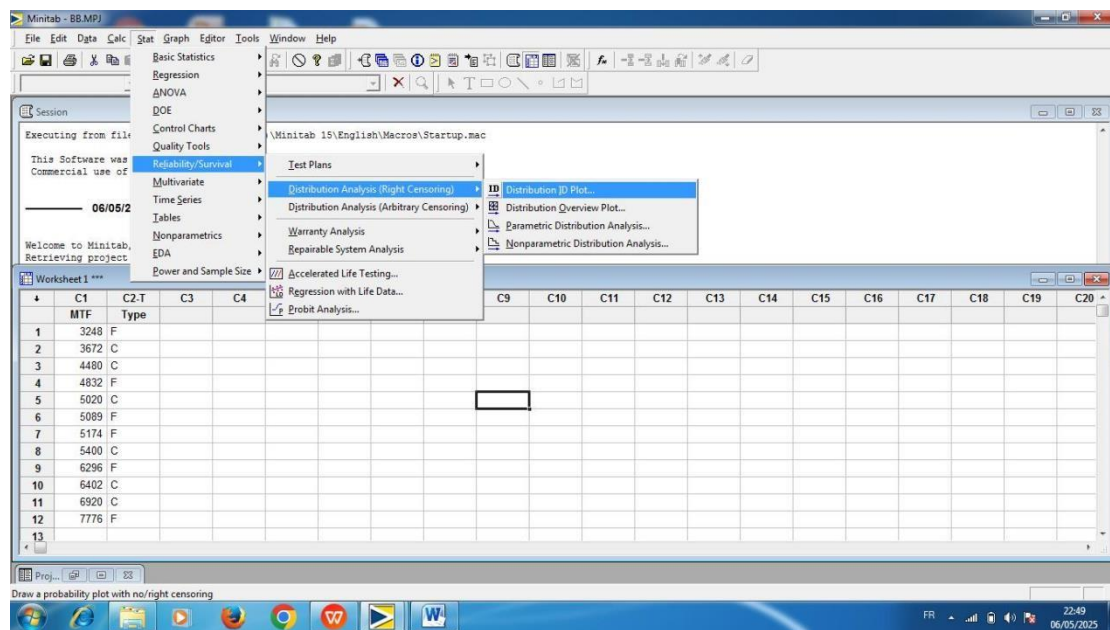
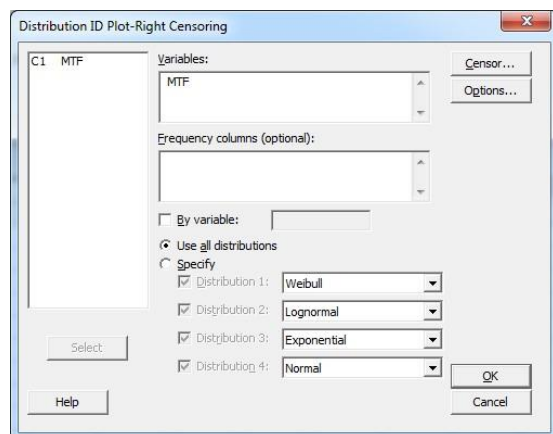
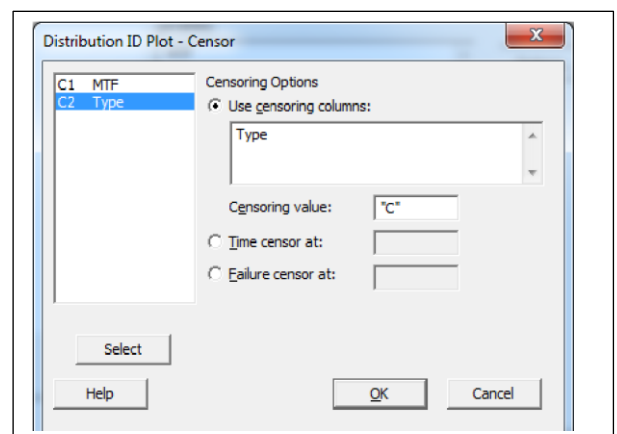
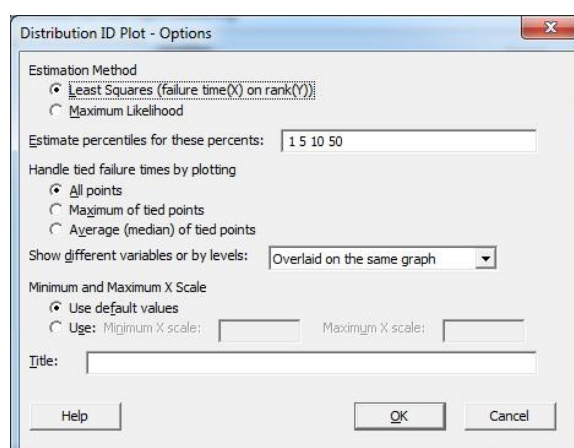


Figure 27. Analyse de réparation

Et en reproduire le fonctionnement par simulation

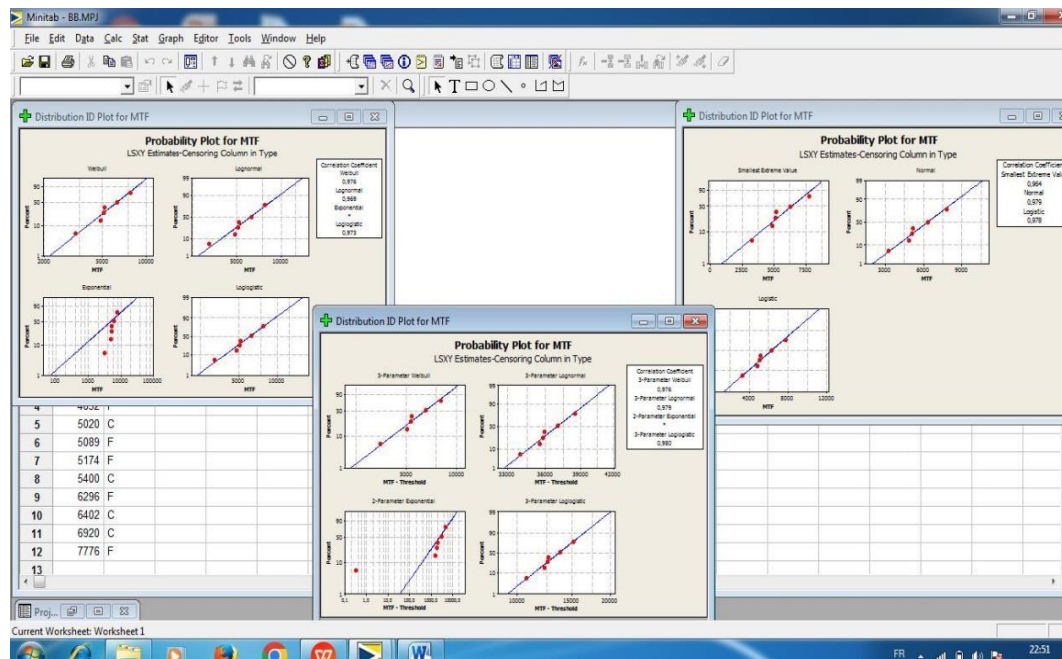


Figure 28. Papier de Weibull en logiciel Minitab

Étape 3 : Lire les résultats -Les étapes :

- 1) Cliquer sur « show graphs folder »
- 2) Cliquer sur « show session folder »
- 3) Sélectionnez Stat > reliability/survival > distribution analysis > distribution overview plot
- 4) Dans la fenêtre qui s'ouvre :

Failure time → choisis la colonne C1 (MTF).

Censor column → choisis la colonne C2 (Type). 5)

Laisse l'option Right Censoring cochée.

- 6) Clique sur Distribution... et choisis Weibull (par défaut c'est souvent sélectionné, mais vérifie bien).
- 7) Clique sur OK.

Et en va voir les paramètres

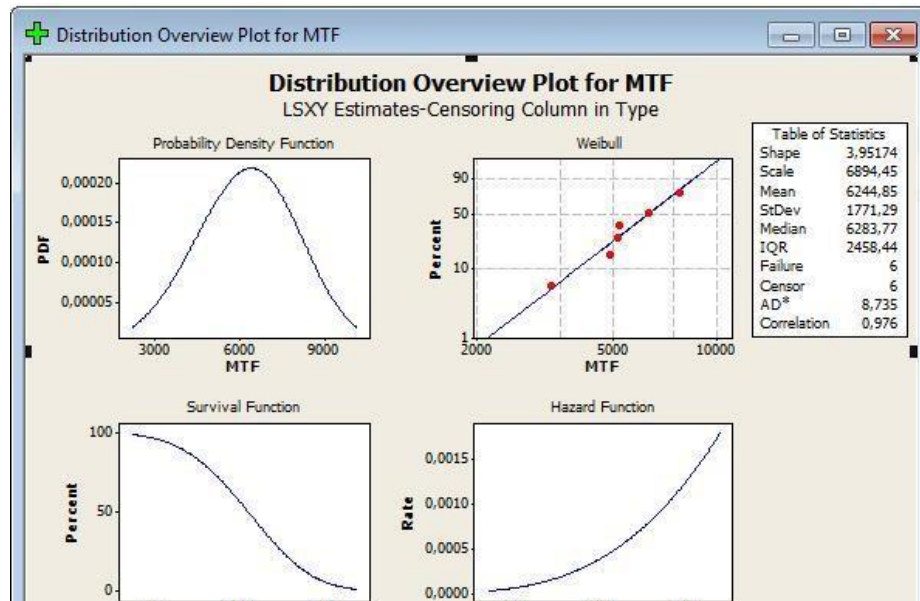


Figure 29. Estimation des données

Tu verras une section nommée "Maximum Likelihood Estimates" ou "Parameter Estimates". Elle contiendra :

β (Shape) : paramètre de forme. η (Scale) : paramètre d'échelle. γ (Threshold/Location) → seulement si tu ajustes un modèle à 3 paramètres (non sélectionné par défaut).

$\beta=3.95$

$\eta= 6894.45$

$\gamma= 0$

4.5 Calcul la fiabilité de la TG Gt13 e2 :

Le MTBF :

D'après le tableau de distribution de Weibull on trouve : $A = 0.9064$; $B = 0.254$

$$\text{MTBF} = A \cdot \eta + \gamma$$

$$\text{MTBF} = 0,9137 \cdot 6894.45 + 0$$

$$\text{MTBF} = 6249.13 \text{ heures/panne.}$$

4.5.1 Calcul de $R(t)$, $F(t)$, $\lambda(t)$:

❖ La fiabilité $R(t)$:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (4.2)$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{6249.13}{6894.45}\right)^{3.9}} = 0.505$$

$$R(t) = 50.5\%$$

Tableau et courbe :

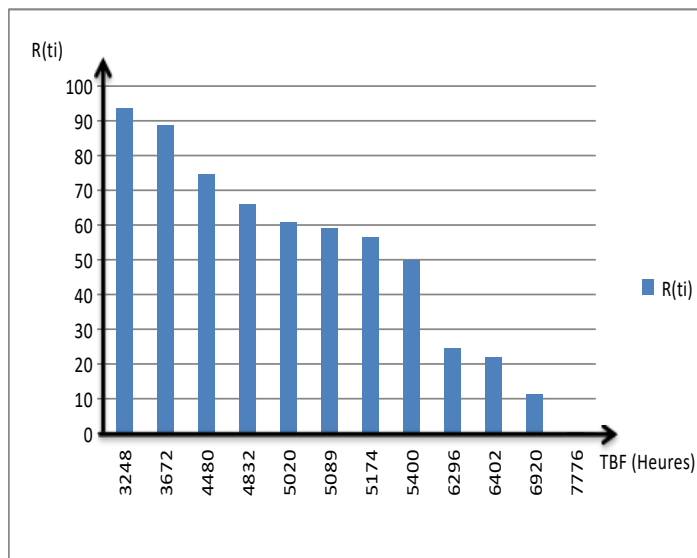


Figure 30. La Courbe De la Fonction Fiabilité

TBF	R(ti)
3248	93,54
3672	88,92
4480	74,59
4832	66,03
5020	60,97
5089	59,05
5174	56,64
5400	50,05
6296	24,6
6402	22
6920	11,46
7776	0,024

Table 5. Calcul de la fiabilité

Commentaire :

D'après la figure on a remarqué qu'il y a une dégradation de la fiabilité au cours du cumul de temps de bon fonctionnement signifié que la tag gt13e2 subit plusieurs arrêts qui provoquent l'arrêt de l'unité. Cette dégradation est due essentiellement aux vibrations de l'équipement ou la dégradation du matériel, soit à une mauvaise maintenance.

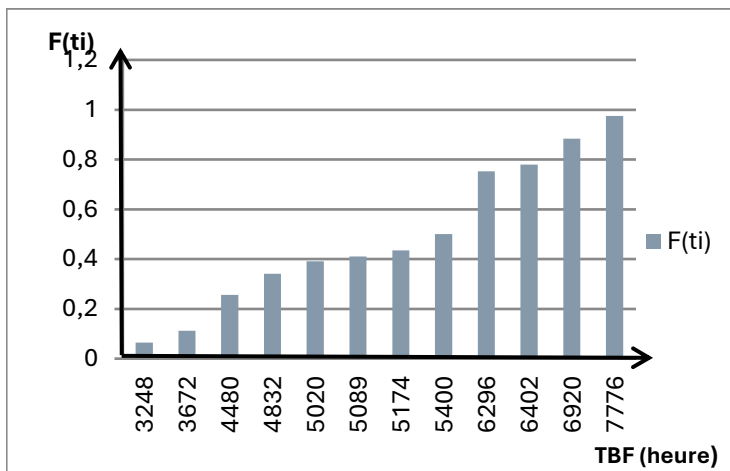
4.5.2 La fonction de répartition $F(t)$:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (4.3)$$

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{6249.13}{6894.45}\right)^{3.9}} = 0.4942$$

$$F(t) = 49.42\%$$

Tableau et courbe :



TBF	F(ti)
3248	0,064
3672	0,1122
4480	0,2558
4832	0,3413
5020	0,3916
5089	0,4108
5174	0,4348
5400	0,5002
6296	0,7531
6402	0,779
6920	0,884
7776	0,9745

Figure 32. La Courbe De Fonction Répartition

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

Commentaire :

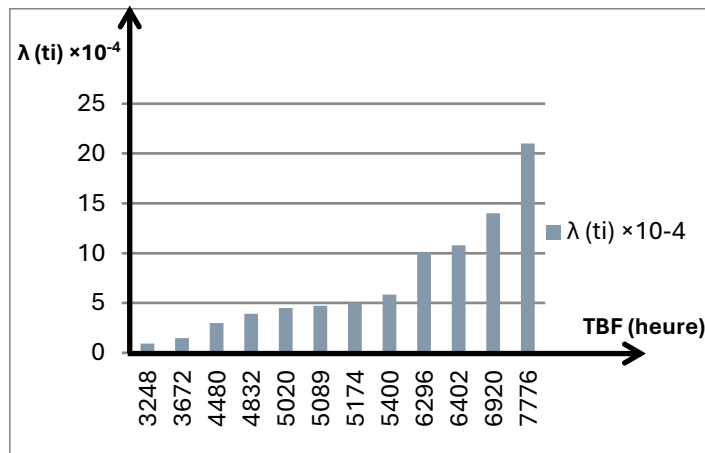
D'après la figure, on voit que la fonction de répartition augmente avec le temps jusqu'au 49% , c'est-à-dire qu'il est très probable d'avoir une ou des avaries si le temps d'utilisation augmente, Donc il faut prévoir une méthode propre pour éviter les défaillances estimées et par conséquent l'amélioration de la fiabilité.

4.5.3 Taux de défaillance :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad (4.4)$$

$$\lambda(t) = \frac{3.9}{6894.45} \left(\frac{624913}{6894.45} \right)^{3.9-1} = 4.25 \times 10^{-4}$$

Tableau et courbe :



TBF	λ (ti) ×10 ⁻⁴
3248	0,93
3672	1,46
4480	2,98
4832	3,92
5020	4,5
5089	4,72
5174	5,01
5400	5,85
6296	10,1
6402	10,8
6920	14
7776	21

Figure 33.Le courbe taux de défaillance

Table 7.Calcul le taux de défaillance

Commentaire :

A partir de la figure, on remarque que les résultats obtenus dans notre application, le taux de défaillance croît avec le temps. Selon la théorie, notre équipement se situe en période de vieillissement, dues a l'âge ou à l'usure de cette turbine c'est-à-dire la dégradation du matériel (usure mécanique).

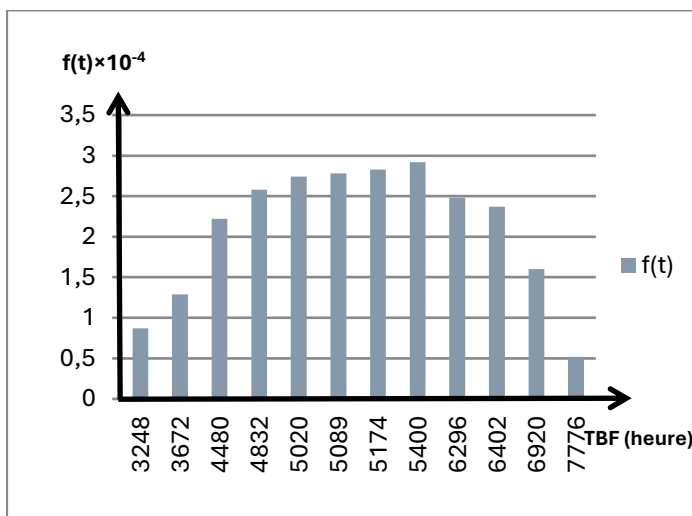
4.5.4. Densité de probabilité de défaillance :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{(\beta-1)} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta} \quad (4.5)$$

$$f(t) = \frac{3.9}{6894.45} \left(\frac{6249.13}{6894.45} \right)^{(3.9-1)} e^{-\left(\frac{6249.13}{6894.45} \right)^{3.9}}$$

$$f(t) = 2.14 \times 10^{-4}$$

Tableau et courbe :



TBF	f(t)
3248	0,869
3672	1,29
4480	2,22
4832	2,58
5020	2,74
5089	2,78
5174	2,83
5400	2,92
6296	2,48
6402	2,37
6920	1,6
7776	0,517

Figure 34. La Courbe de la densité de probabilité de défaillance

Table 8. Calcul la fonction de la densité de probabilité

Commentaire :

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

4.6 Test de Kolmogorov-Smirnov :

Avant la validation de toutes les lois de fiabilité, il est nécessaire de tester l'hypothèse pour savoir si nous devons accepter ou rejeter le modèle proposé par le test de K-S avec un seuil de confiance de $\alpha = 5\%$. Ce test consiste à calculer l'écart entre la fonction théorique $F(i)$ et la fonction réelle $F(t)$ et prendre le maximum en valeur absolue DN_{max} . Cette valeur est comparée avec DN_{α} Qui est donnée par la table de Kolmogorov

Smirnov α (voir annexe1). Si $DN_{max} > D_n$, α On refuse l'hypothèse.

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

N °	TBF	F (ti) Théorique	R (ti)	λ (ti) $\times 10^{-4}$	F (ti) Réelle	f(ti) $\times 10^{-4}$	Dni
1	3248	0.0564	93.54	0.93	0.064	0.869	0.0076
2	3672	0.1370	88.92	1.46	0.1122	1.29	0.0248
3	4480	0.2177	74.59	2.98	0.2558	2.22	0.0381
4	4832	0.2983	66.03	3.92	0.3413	2.58	0.043
5	5020	0.3790	60.97	4.5	0.391	2.74	0.012
6	5089	0.4596	59.05	4.72	0.4108	2.78	0.0488
7	5174	0.54032	56.64	5.01	0.4348	2.83	0.10552
8	5400	0.62096	50.05	5.85	0.5002	2.92	0.12076
9	6296	0.70161	24.60	10.1	0.7531	2.48	0.05149
10	6402	0.78225	22	10.8	0.7790	2.37	0.00325
11	6920	0.86290	11.46	14	0.8840	1.6	0.0211
12	7776	0.94354	0.024	21	0.9745	0.517	0.03096

Table 9. Les différentes valeurs utilisées pour la distribution de Weibull

D'après le tableau :

La fréquence maximale $DN_{max} = \mathbf{0.12076}$ et selon la table K-S

(KOLMOGOROVSMIRNOV) avec :

$N = 12$ et $\alpha = 0,05$

D'après le tableau de K-S:

$DN_{\alpha} = D_{12,005} = 0,6$

0.12076 < 0,6

Donc l'hypothèse du modèle de Weibull est **acceptable**.

4.6.1 Etude de Maintenabilité :

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

La fonction de maintenabilité $M(t)$:

$$M(t) = 1 - e^{-\mu(t)} \quad (4.6)$$

$$MTTR = \frac{\sum TTR}{N} \quad (4.7)$$

TTR : Moyenne des temps de réparation.

N : le nombre de réparation

$$MTTR = \frac{121}{12} = 10.08h$$

$$\mu(t) = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{10.08} = 0.0992 \text{ intervention/heure} \quad (4.8)$$

Tableau et courbe :

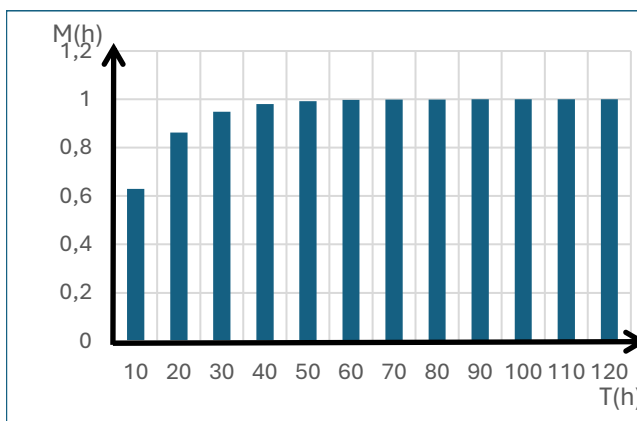


Figure 35.La courbe de Maintenabilité

N	T(h)	M(h)	%
1	10	0.6291	62.91
2	20	0.8624	86.24
3	30	0.949	94.9
4	40	0.981	98.1
5	50	0.9929	99.29
6	60	0.9973	99.73
7	70	0.999	99.9
8	80	0.9996	99.96
9	90	0.9998	99.98
10	100	0.9999	99.99
11	110	0.9999	99.99
12	120	0.9999	99.99

Table 10.Etude de maintenabilité

Commentaires : Ce graphe représente la variation de $M(h)$ en fonction de $t(h)$

Initialement de 0 à environ 0 heures la courbe montre une augmentation rapide de la probabilité de réparation au fur et à mesure que le temps alloué augmente

a partir de 40 heures jusqu'à 120 heures la valeur de $M(h)$ reste très élevée proche de 1 cela indique que prolonger le temps de réparation au delà de 40 heures n'apporte que un gain minime en termes de probabilité de réussir l'intervention.

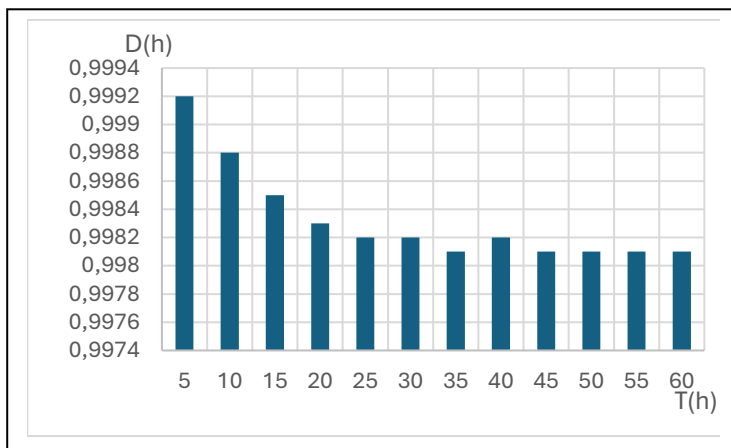
4.6.2 Etude de disponibilité instantanée :

Pour un système avec l'hypothèse d'un taux de défaillance λ constant et d'un taux de réparation μ constant, on montre que la disponibilité instantanée a pour expression :

$$D(t) = \frac{\mu}{\mu + \lambda} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\mu + \lambda)t} \quad (4.9)$$

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{5359.08} = 0.000186 \quad (4.10)$$

Tableau et courbe :



T(h)	D(h)	%
5	0.9992	99.92
10	0.9988	99.88
15	0.9985	99.85
20	0.9983	99.83
25	0.9982	99.82
30	0.9982	99.82
35	0.9981	99.81
40	0.9982	99.82
45	0.9981	99.81
50	0.9981	99.81
55	0.9981	99.81
60	0.9981	99.81

Table 11. Disponibilité instantanée

Figure 36. La courbe de la disponibilité

Commentaire

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

4.7 Conclusion :

En conclusion, ce chapitre a permis d'analyser l'historique des pannes de la turbine à gaz GT13E2 située à l'unité « S.P.E » de Relizane en identifiant et classifiant les défaillances selon leurs origines. L'étude a ensuite porté sur la modélisation de la fiabilité à travers la distribution de Weibull, dont les paramètres ont été estimés et validés à l'aide du test de Kolmogorov-Smirnov.

Ce dernier a confirmé que la loi de Weibull représente un bon ajustement pour les données analysées, avec un taux de fiabilité estimé à 78 %. Pour maintenir, voire améliorer la disponibilité de la turbine, il est essentiel de mettre en œuvre une stratégie de maintenance efficace, reposant principalement sur deux axes : la réduction du nombre d'arrêts imprévus (amélioration de la fiabilité) et la diminution du temps nécessaire pour traiter les causes de ces arrêts.

Conclusion générale :

Ce mémoire a porté sur la stratégie de maintenance de la turbine à gaz GT13E2. Nous y avons étudié plusieurs éléments essentiels, notamment l'optimisation de la maintenance préventive, l'identification des équipements critiques et l'exploitation des données de fiabilité pour concevoir un plan de maintenance pertinent. L'objectif principal était de proposer des solutions et recommandations permettant d'améliorer la gestion et la performance de la maintenance de cette turbine.

Pour atteindre cet objectif, il s'est avéré indispensable de collecter des données issues de l'historique de suivi des indicateurs de dégradation des équipements, en tenant compte de leur date d'apparition.

L'analyse de la fiabilité des équipements a été facilitée par l'utilisation de logiciels spécialisés comme Minitab, un outil à la fois souple et convivial. Il nous a permis d'examiner les différentes méthodes d'analyse de la fiabilité, tout en offrant une meilleure compréhension des techniques appliquées.

Nous avons notamment utilisé la loi de Weibull pour évaluer la fiabilité des équipements à différents stades de l'étude. Cette loi, reconnue pour sa flexibilité, s'adapte aisément à divers résultats expérimentaux. Elle nous a aidés à déterminer les périodes d'intervention optimales pour garantir la fiabilité des composants. En nous appuyant sur un historique complet et une analyse probabiliste poussée des indicateurs de fiabilité, nous avons pu non seulement améliorer la fiabilité des équipements, mais aussi anticiper leur comportement.

Ce travail nous a ainsi permis d'explorer les méthodes classiques d'analyse de fiabilité des systèmes, tout en orientant nos choix vers les stratégies de maintenance les plus adaptées. En combinant ces approches, nous avons pu prendre des décisions éclairées en vue d'optimiser la performance et la longévité des équipements.

Bibliographie

Référence :

- | N° | Référence |
|-----|---|
| [1] | Ezay « Cours de maintenance industrielle TH3 2017-2018 » |
| [2] | Kodjo Elolo ADJOGAH « Cour de maintenance Chapitre1 généralité sur la maintenance Jul19 ,2021 » |
| [3] | Djouweinannodji Yves « Cours d'organisation gestion et maintenance des systèmes industriels et ph Jan 23,2023 » |
| [4] | FRANÇOIS MONCHY « Maintenance : Méthodes et organisation » ,2 ^e Ed. Dunod. |
| [5] | "Manuel de maintenance", NAPHTOGAZ, HMD, (2001). |
| [6] | JEAN –MARIE AUBERVILLE « maintenance industrielle de l'entretien de base à l'optimisation de la sûreté. » génie industrielle techno. Sup |
| [7] | A.DESPUJOLS,optimisation de la maintenance par la fiabilité (OMF),techniques de l'ingénieur,2004 |
| [8] | Alizadeh,A.M,fereidunian,AMoghim,M.&Lesani ,H(2021).Reliability centered maintenance scheduling considering failure rates 1941–1951. https://doi.org/10.1109/tpwrd.2021.3101458 . |
| [9] | P. N., Cotaina (1999). Méthodologie d'aide à la décision et à la mise en place de politiques de maintenance pour les P.M.E. L'apport de la MBF (Maintenance Basée sur la Fiabilité). Thèse, en vue de l'obtention du grade de Docteur de l'Université Henri Poincaré, Nancy 1, spécialité Automatique, soutenue le 22 octobre 1999. |

Bibliographie

- [10] D.Richet, M. Gabriel, La Maintenance Basée sur la Fiabilité, Edition Masson 1996

- [11] Benkhelifa A "Fiabilité Des Equipements De D.T.M., Analyse Fonctionnelle Et Implications Organisationnelles De La Fonction Maintenance De Transport" Mémoire De Master, Université De Ouargla 2011

- [12] Ouarab Numidia, Dadi Sara, analyse de la fiabilité et optimisation de la maintenance préventive du système de contrôle d'accès, université de Bejaïa 2016

- [13] Julie BERTHON, « nouvelle approche de la fiabilité Opérationnelle », thèse de doctorat de l'université de bordeaux 1, 2008

- [14] Ammari khaled et allaoua saad « étude de la sûreté de fonctionnement du compresseur centrifuge » mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme D'ingénieur d'état en instrumentation 2013 à l'IMSI d'Oran

- [15] Di.cho et M. Parlar, Survey of maintenance model for multi-unit system, European journal of operation research, vol 51 n 01 pp 1-23. 1991.

- [16] ciber ramzi « Modélisation du comportement d'une Aube de Turbine à gaz au matériau composite Mar 23, 2020 »