

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

FACULTE DE TECHNOLOGIE  
DEPARTEMENT  
D'ELECTROTECHNIQUE



DOMAINE : SCIENCES ET  
TECHNOLOGIE FILIERE :  
ÉLECTROTECHNIQUE  
OPTION : ÉNERGIE RENOUVELABLE

N°:.. 12 .. // 2024

Mémoire présenté pour l'obtention  
Du diplôme du Master Académique

Par : FERHATI SELMA

Intitulé

*Modélisation et amélioration de la fiabilité d'un  
turboalternateur*

Jury composé de :

Dr. Defdaf Mabrouk	Université de M'sila	Président
Pr. Ghemari Zine	Université de M'sila	Encadreur
Dr. Cherif Bilal Djamal Eddine	Université de M'sila	Examineur

Année universitaire : 2023/2024

## **REMERCIEMENTS**

*Nous remercions avant tout Allah le tout puissant pour son aide, sa bénédiction et surtout ce qu'il nous a donné.*

*Un grand merci à nos encadreurs **Pr. Zine Ghemari** qui nous donnent beaucoup, et pour leurs attentions, leurs disponibilités, leurs conseils et leurs sympathies.*

*Nos remerciements vont également aux **membres du jury**, chacun par son nom, pour avoir accepté de faire partie du jury d'évaluation de ce modeste travail.*

*Nous remercions **tous les enseignants du département de génie électrique** qui ont contribué à notre formation, ainsi que **tous les membres du cadre administratif**.*

*Nous tenons à remercier, enfin, tous ceux qui ont aidés de près ou de loin lors de ce projet de fin d'études.*

**FERHATI SELMA**

## *DEDICACE*

*A mes parents ABDEALLAH et NACIRA , qui ont toujours  
cru en moi,*

*Apporté un soutien indéfectible et m'ont inculqué la valeur  
de l'éducation, ce mémoire vous est dédiée pour votre  
amour et vos encouragement infinis.*

*A mes frères, A mes sœurs*

*et tantes chacun en son nom , à mes amis et camarades de  
classe*

*A tous mes proche et mes connaissances, a tous ceux qui  
m'ont étudié, chacun en son nom*

*A mes compagnons Imen, Manel ,hafcai , rofaida , chaima*

*Selma*

## Résumé

La fiabilité des turbo-alternateurs est un aspect critique de la gestion des installations électriques. Pour garantir un fonctionnement stable et continu, il est essentiel de modéliser et d'améliorer leur fiabilité. La modélisation implique l'utilisation de techniques avancées pour prédire les performances et les défaillances potentielles, tandis que l'amélioration comprend l'introduction de matériaux durables, l'optimisation des processus de maintenance et l'intégration de technologies de surveillance avancées. Ces efforts visent à réduire les temps d'arrêt imprévus, à optimiser l'efficacité opérationnelle et à maximiser la disponibilité de l'électricité. En investissant dans la modélisation et l'amélioration de la fiabilité des turbo-alternateurs, les entreprises peuvent garantir un approvisionnement électrique stable et fiable.

**Mots :** turbo-alternateur , fiabilité, disponibilité, maintenabilité, maintenance

## ملخص

موثوقية التوربينات الكهربائية هي جانب حرج في إدارة المنشآت الكهربائية. لضمان تشغيل مستقر ومتواصل، من الضروري نمذجة وتحسين موثوقيتها. يشمل النمذجة استخدام تقنيات متقدمة لتوقع الأداء والفاشل المحتمل، بينما يشمل التحسين إدخال مواد متينة وتحسين عمليات الصيانة ودمج تقنيات المراقبة المتقدمة. تهدف هذه الجهود إلى تقليل أوقات التوقف غير المتوقعة، وتحسين الكفاءة التشغيلية، وتعظيم توافر الكهرباء. من خلال الاستثمار في نمذجة وتحسين موثوقية التوربينات الكهربائية، يمكن للشركات ضمان توفير كهرباء مستقرة وموثوقة.

## الكلمات الدالة

مولد كهربائي توربيني , الموثوقية , التوفر , قابلية الصيانة , الصيانة

## Abstract

The reliability of turbine generators is a critical aspect of power plant management. To ensure stable and continuous operation, it is essential to model and improve their reliability. Modelling involves the use of advanced techniques to predict performance and potential failures, while improvement includes the introduction of durable materials, the optimization of maintenance processes and the integration of advanced monitoring technologies. These efforts are aimed at reducing unplanned downtime, optimizing operational efficiency and maximizing power availability. By investing in modelling and improving the reliability of turbine generators, companies can ensure a stable and reliable electricity supply. Summary

**Keys :** Turbo-alternator , reliability, availability, maintainability, Maintenance

# SOMMAIRE

*REMERCIEMENTS*

*DEDICACE*

Résumé

Introduction général 01

## **Chapitre I. Généralité sur la turbine à gaz**

I.1.Introduction 03

I.2.Le turbo alternateur

I.3Généralités sur la turbine à gaz 03

I.4.Différents types de turbine à gaz 04

I.5.Principe de fonctionnement de la turbine à gaz 05

I.6.Les éléments principaux de la turbine à gaz 06

I.7.Classification des turbines à gaz 07

I.7.1.par le mode de construction 07

I.7.2. par le mode de fonctionnement thermodynamique 08

I.7.3. par le mode de travail 08

I.8. L'alternateur 08

I.8.1 Construction de l'alternateur 09

I.8.1.1 Le Stator 09

I.8.1.1 .1 La carcasse 09

I.8.1.1 .2 Le caisson des bornes 09

I.8.1.1. 3 Le circuit magnétique 09

I.8.1.1 .4 L'enroulement stator 10

I.8.1.2 le rotor 11

I.8.3 Les type de L'alternateur 13

CONCLUSION 14

## **Chapitre II. Maintenance et fiabilité**

II.1 Introduction 15

II.2 La maintenance 15

II .2.1 Définition de la maintenance 15

II.2.2 Différents types de maintenance 15

II.2.2.2. La définition de la maintenance préventive 16

II.2.2.2. La définition de la maintenance préventive 16

II.2.3. Le principe de maintenance conditionnelle 17

II.2.4. Les différentes techniques de la maintenance préventive conditionnelle 18

II.2.5. Le choix de la technique de surveillance 19

II.2.6. Avantages et inconvénients de la maintenance préventive conditionnelle 20

II.2.7 Les objectifs de la maintenance préventive conditionnelle	22
II.2.8. Le choix d'une stratégie de maintenance	23
II .2.9 Les niveaux de maintenance	25
II. 3 La fiabilité	26
II.3.2 Objectifs de la fiabilité	26
II.3.3 L'utilité de l'analyse de la fiabilité	26
II. 3.4 Principales lois de probabilité utilisées en fiabilité	27
II. 3.5 Paramètres nécessaires à la mesure de fiabilité	28
II.4. La Maintenabilité	34
II.5 . La disponibilité	35
II.6. Le diagramme A.B.C (PARETO)	36
CONCLUSION	37

### **Chapitre III : Présentation de l'entreprise**

III.1. Introduction	38
III.2 Présentation de l'entreprise	38
III.3 Organisation de la Direction Générale « DG »	39
III.3 .1 Staff de la Direction Générale	39
III.3 .2 Division Ressources Humains (DRH)	40
III.3. 3 Division Relations Commerciales (DRC)	41
III.3. 4 Division Etudes et Exécution des Travaux	42
III.3 .5 Division Administration des Marchés (DAM)	42
III.3 .6 Division Techniques Électricité (DTE)	43
III.3 .7 Division Finance et Comptabilité (DFC)	44
III.3 .8 Division Gestion Systèmes d'Information (DGSI)	45
III.3 .9 Service Affaire Générale (SAG)	45
III.4 La relation entre les divisions	46
III.5. Conclusion	48

### **Chapitre IV : Analyse de FMD du turboalternateur**

IV. 1 introduction	49
IV. 2 L'application d'analyse FMD	49
IV. 2. 1 Etude FMD (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité)	49
IV. 2. 1.1 Calcul les paramètres de Wei bull	49
IV. 2. 1.2 Test (Kolmogorov Smirnov)	51
IV.2.1.3 Exploitation les paramètres de WEIBULL	52
IV.2.1.3.1 Le MTBF	52
IV.2.1.3.2 La densité de probabilité en fonction de MTBF	52
IV.2.1.3.3 La fonction de répartition en fonction de MTBF	53
IV.2.1.3.4 La fiabilité en fonction de MTBF	53
IV.2.1.3.5 Le taux de défaillance en fonction de MTBF	53
IV.2.1.4 Étude de modèle de Wei bull	53
IV.2.1.4 .1 La fonction de la densité de probabilité	53

IV.2.1.4.2 Fonction de répartition F(t)	56
IV.2.1.4.3 La fiabilité	57
IV.2.1.4.4 Le taux de défaillance	58
IV.2.1.4.5 Calcul la Maintenabilité de la turboalternateur	60
IV.2.1.4.6 Calcul la disponibilité de la turboalternateur	61
IV. 3 Calcul du temps de bon fonctionnement pour améliorer la fiabilité à 75%	62
IV.4 La courbe ABC	64
IV.5 Propositions des solutions des éléments les plus défaillants du turbo-alternateur	65
IV.6 Conclusion	60
Conclusion Générale	68
Annexe	70
Références	72

## Liste de figure

<b>Figure I.1</b> : Le système turbo-alternateur.	3
<b>Figure I.2</b> : Turbine à gaz.	4
<b>Figure I.3</b> : Schéma d'une turbine à un seul arbre .	4
<b>Figure I.4</b> : Schéma d'une turbine deux arbres.	5
<b>Figure I.5</b> : Schéma d'un Principe de fonctionnement de la turbine à gaz.	6
<b>Figure I .6</b> : Schéma d'un alternateur.	8
<b>Figure I.7</b> : Vue d'ensemble de l'alternateur.	10
<b>Figure I.8</b> : Rotor de l'alternateur.	11
<b>Figure II .1</b> : Organigramme de la maintenance.	15
<b>Figure II.2</b> : L'intervention de la maintenance conditionnelle.	17
<b>Figure II.3:</b> Le temps d'intervention de la maintenance et son impact sur la production.	18
<b>Figure. II.4</b> : La fonction globale d'une stratégie de maintenance préventive conditionnelle.	24
<b>Figure. II.5</b> : La durée de vie optimale.	25
<b>Figure. II.6</b> : La stratégie de la maintenance.	25
<b>Figure II.7</b> : Courbe en baignoire.	28
<b>Figure II.8</b> : la densité.	30
<b>Figure II.9</b> : La densité.	30
<b>Figure II.10</b> : Schématisation des axes.	31
<b>Figure II.11</b> : Papier de Weibull.	31
<b>Figure II.12</b> : Courbe théorique (Taux de défaillance).	32
<b>Figure II.13</b> : Courbe théorique (densité de probabilité $f(t)$ ).	32
<b>Figure II.14</b> : Courbe théorique (fonction de répartition).	33
<b>Figure II.15</b> : Courbe théorique (Fiabilité).	33
<b>Figure II.16</b> : Méthodologie de Weibull.	34
<b>Figure II.16</b> : schématise les états successifs.	35
<b>Figure II.17</b> : la relation FMD.	36
<b>Figure II.18</b> : «Courbe A.B.C. ».	37
<b>Figure III.1</b> :L'organigramme de la Direction de Distribution.	39
<b>Figure III .2:</b> L'organigramme du DRH.	40
<b>Figure III.3</b> : L'organigramme de la DRC.	41
<b>Figure III .4:</b> L'organigramme de la DEET.	42
<b>Figure III .5:</b> L'organigramme du DAM.	43
<b>Figure III .6:</b> L'organigramme du DTE.	44
<b>Figure III .7:</b> L'organigramme du DFC.	44
<b>Figure III .8:</b> Agence Commerciale.	46

<b>Figure III .9:</b> Suivre d'une Affaire RCN.	47
<b>Figure IV-1 :</b> L'interface de logiciel Fiab-Optim.	50
<b>Figure IV. 2 :</b> Fonction de répartition en fonction de sur papier de Weibull.	51
<b>Figure IV. 3 :</b> La Courbe Densité De Probabilité.	54
<b>Figure IV.4 :</b> La Courbe De Fonction Répartition.	54
<b>Figure IV.5 :</b> La Courbe De la Fonction Fiabilité.	55
<b>Figure IV.6 :</b> Le courbe taux de défaillance.	56
<b>Figure IV.7 :</b> La Courbe de Maintenabilité.	57
<b>Figure IV.8 :</b> La Courbe de disponibilité instantanée.	58
<b>Figure IV.9 :</b> courbe ABC.	59

## Liste de tableau

<b>Tableau. II.1.</b> Comparaisons des outils de maintenance préventive conditionnelle.	49
<b>Tableau IV.1 :</b> Dossier historique de panne M'sila3 G 2.	49
<b>Tableau IV. 2 :</b> calcul la Fonction de réparation réelle.	51
<b>Tableau IV. 3 :</b> test de Kolmogorov-Smirnov.	52
<b>Tableau IV. 4 :</b> Calcul la fonction de la densité de probabilité.	53
<b>Tableau IV.5 :</b> Fonction de répartition F(t).	54
<b>Tableau IV. 6 :</b> Calcul de la fiabilité.	55
<b>Tableau IV. 7 :</b> Calcul le taux de défaillance.	56
<b>Tableau IV.8 :</b> Calcul La maintenabilité.	57
<b>Tableau IV.9 :</b> Tableau de disponibilité instantané.	57
<b>Tableau IV 10 :</b> les données pour tracer la courbe ABC.	59

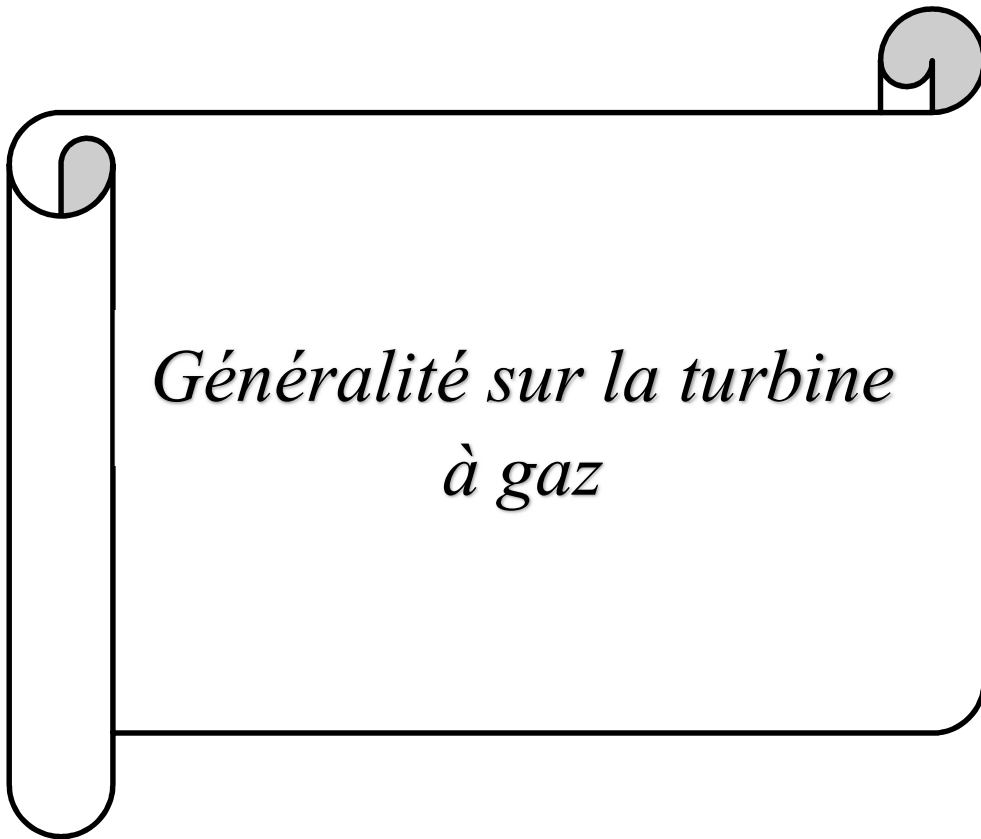
### Introduction générale

Autrefois où l'électricité était absente de la vie quotidienne, cela posait d'énormes difficultés pour répondre aux besoins de l'homme. La nécessité de produire de l'électricité de manière efficace et continue devenait impérative. La mise en place d'industries capables de générer d'importantes quantités d'électricité pour satisfaire la demande croissante était inévitable. Les centrales nucléaires, les centrales à combustibles fossiles et les centrales hydrauliques émergeaient comme les trois principaux modes de production dans le monde. Les centrales électriques convertissent diverses sources d'énergie primaire en énergie électrique, se distinguant uniquement par leur source primaire d'énergie (thermique, hydraulique, éolienne, nucléaire, etc.) [1]. L'obtention de l'électricité résulte de la transformation de l'énergie mécanique générée par une turbine à gaz, une turbine à vapeur dans les centrales thermiques, ou une turbine hydroélectrique dans les centrales hydrauliques [2]. La sortie de la turbine, la puissance d'entrée de l'alternateur, et le couplage entre la turbine et l'alternateur forment ce que l'on appelle le turbo-alternateur. Actuellement, la majeure partie de l'électricité mondiale est générée par ces turbo-alternateurs, composés d'une turbine et d'un alternateur convertissant l'énergie mécanique en énergie électrique. L'utilisation de turbines à gaz de grande puissance ( $> 1$  MW) entraîne l'alternateur pour la production d'électricité. Dans les centrales thermiques, le gaz est brûlé dans des chambres de combustion en présence d'air comprimé, produisant ainsi des gaz chauds. Ces gaz chauds sous pression entraînent la turbine à une vitesse de 3000 tr/min. L'énergie mécanique fournie par la turbine est ensuite transformée en énergie électrique par l'alternateur, et les gaz chauds sont dirigés vers l'échappement [3].

Le but de ce travail est la modélisation et l'amélioration de la fiabilité d'un turboalternateur. Pour atteindre cet objectif, Ce mémoire est structuré en 4 chapitres, suivis d'une conclusion générale. Le premier chapitre va décrire une généralité sur la turbine à gaz, sa constitution, son fonctionnement et ses classifications pour donner une idée claire sur cette dernière. Le deuxième chapitre est consacré à étudier la maintenance, la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité et leurs lois de calculs. Le troisième chapitre est consacré à la présentation de l'entreprise SDE de la wilaya de M'sila. Le quatrième chapitre est une application de l'analyse F.M.D par l'utilisation de l'historique de panne du turbo alternateur pendant 5 ans et plus de M'SILA 3 **Groupe2** pour évaluer les paramètres de la sureté de fonctionnement puis on améliorera ces paramètres.

Enfin, une conclusion générale qui résumera les résultats obtenus et leur importance ainsi que les perspectives vont être donnés à la fin de ce travail.

# *Chapitre I*



*Généralité sur la turbine  
à gaz*

### I.1. Introduction

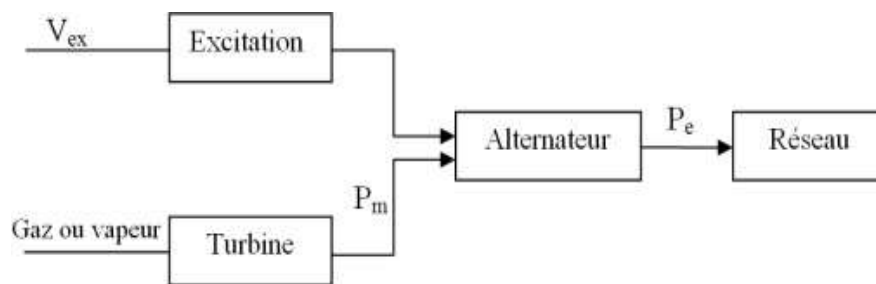
L'emploi des turbines à gaz est très répandu dans des nombreuses applications l'industrielles et de la production d'énergie mécanique. La turbine à gaz est un moteur à combustion interne qui aspire et comprime l'air atmosphérique et convertie en énergie mécanique donc c'est une machine autonome avec un écoulement continu et c'est une machine tournante thermodynamique.

### I.2. Le turbo alternateur

Les alternateurs de grande puissance ou Turbo alternateur (Appellation donnés généralement aux alternateurs entraînés par des turbines à vapeur ou à gaz) se distingue des autres plus petits par leurs puissances en premier lieu, et après par la technologie utilisée soit pour la construction des pièces maitresses ou pour le refroidissement des différents éléments de la machine [1].

La figure suivante présente le système turbo-alternateur :

*Figure I.1 Le système turbo-alternateur.*



**Figure I.1:** Le système turbo-alternateur.

### I.3. Généralités sur la turbine à gaz

La turbine à gaz est un moteur qui transforme l'énergie du carburant en mouvement rotatif en utilisant le processus de combustion. En résumé, elle aspire l'air, le comprime, mélange le carburant, le brûle pour produire des gaz chauds à haute pression, puis dirige ces gaz vers une turbine qui tourne et alimente un générateur pour produire de l'électricité. Cette technologie est largement utilisée dans la production d'électricité, l'aviation et d'autres applications nécessitant une source d'énergie puissante et légère.

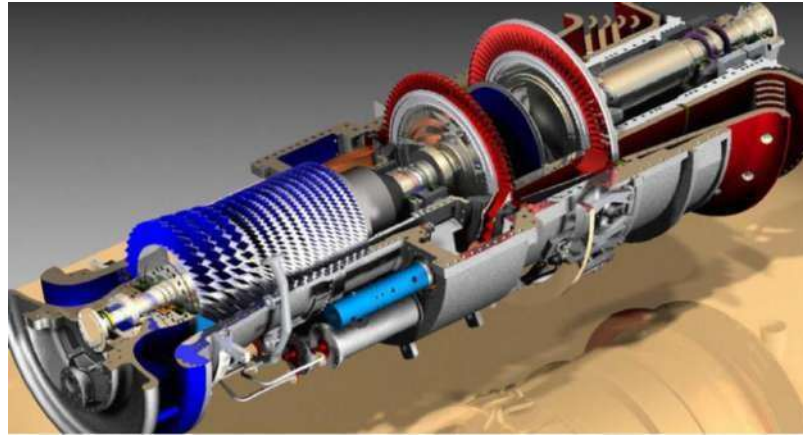


Figure I.2 : Turbine à gaz.

#### I.4. Différents types de turbine à gaz

Une turbine à gaz peut comporter une ou deux lignes d'arbre pour l'ensemble des éléments tournants :

##### a-Turbine à une ligne d'arbre :

Le système est entraîné d'abord par un moteur jusqu'à une certaine vitesse, ensuite c'est la turbine HP qui continue l'entraînement de l'ensemble des éléments. [3]

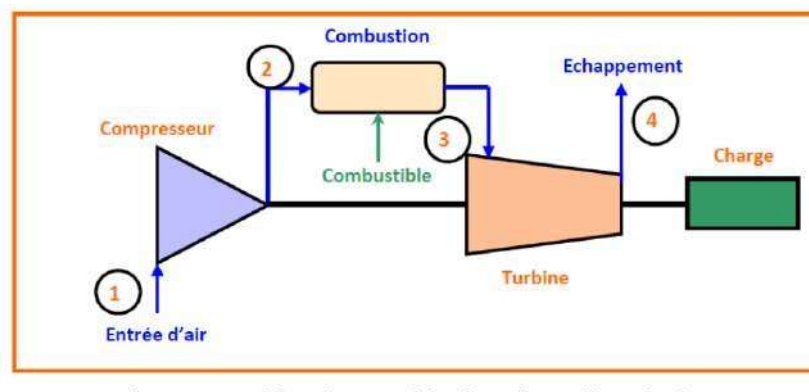


Figure I.3 : Schéma d'une turbine à un seul arbre.

##### b-Turbine à deux lignes d'arbre

Comme pour une ligne d'arbre, il est rajouté une turbine BP en bout d'arbre séparé mécaniquement.

La conception à deux lignes d'arbres représente le maximum de souplesse et, est retenue pour les applications de grandes puissances. [4]

### b-Turbine à deux lignes d'arbre

Comme pour une ligne d'arbre, il est rajouté une turbine BP en bout d'arbre séparé mécaniquement.

La conception à deux lignes d'arbres représente le maximum de souplesse et, est retenue pour les applications de grandes puissances. [4]

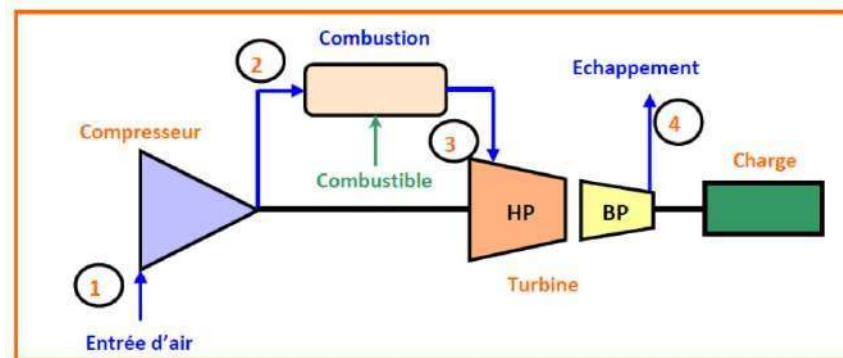


Figure I.4 : Schéma d'une turbine deux arbres.

### I .5. Principe de fonctionnement de la turbine à gaz

Le principe de fonctionnement d'une turbine à gaz repose sur la conversion de l'énergie thermique en énergie mécanique. Voici une explication générale du processus.

1. Compression de l'air : L'air ambiant est aspiré et comprimé dans le compresseur de la turbine à gaz. Ce compresseur augmente la pression de l'air, ce qui élève également sa température.
2. Injection de carburant et combustion : Le carburant est injecté dans l'air comprimé, et la combustion de ce mélange air-carburant se produit dans la chambre de combustion. Cette réaction libère une quantité importante de chaleur, augmentant considérablement la température de l'air.
3. Expansion des gaz : Les gaz chauds résultant de la combustion sont dirigés vers une série de turbines. Ces turbines sont reliées à l'arbre de la turbine, et en passant à travers elles, les gaz en expansion font tourner les turbines.
4. Production d'énergie mécanique : La rotation des turbines entraîne l'arbre de la turbine, qui est connecté à un générateur électrique. La rotation de l'arbre génère de l'énergie mécanique.
5. Production d'électricité : L'énergie mécanique est convertie en électricité par le générateur électrique. C'est ainsi que la turbine à gaz produit de l'électricité.

La turbine à gaz est souvent utilisée pour la production d'électricité dans les centrales électriques, mais elle peut également être utilisée dans d'autres applications, telles que la propulsion des avions ou la fourniture d'énergie mécanique dans divers processus industriels. Ce processus est connu pour sa rapidité de démarrage et son rendement élevé, ce qui en fait une option populaire pour certaines applications.

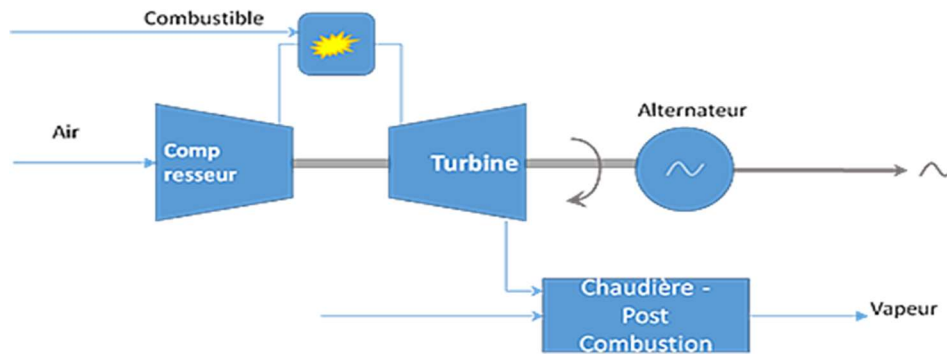


Figure I.5 : Schéma d'un Principe de fonctionnement de la turbine à gaz.

## I.6. Les éléments principaux de la turbine à gaz

L'ensemble de la turbine à gaz est constitué par trois composantes essentielles :

- **Un compresseur**, centrifuge ou axial, qui a pour rôle de comprimer de l'air ambiant à une pression comprise aujourd'hui entre 10 et 30 bars.
- **Une chambre de combustion**, dans laquelle un combustible gazeux ou liquide est injecté sous pression, puis brûlé avec l'air comprimé, avec un fort excès d'air afin de limiter la température des gaz d'échappement.
- **Une turbine**, généralement axiale, dans laquelle sont détendus les gaz qui sortent de la chambre de combustion. Sous cette forme, la turbine à gaz constitue un moteur à combustion interne à flux continu. On notera que le travail de Compression représente environ 60% C du travail de détente. Le terme de turbine à gaz provient de l'état du fluide de travail, qui reste toujours gazeux, et non du combustible utilisé, qui peut-être aussi bien gazeux que liquide.

## I.7. Classification des turbines à gaz

On distingue trois modes de classification de turbines à gaz qui sont exposés ci-dessous :

- par le mode de construction.
- par le mode de fonctionnement thermodynamique.
- par le mode de travail.

### I.7.1. par le mode de construction

La définition de différents types de turbines à gaz permet d'utiliser le type qu'on doit choisir. Dans l'industrie, on trouve les turbines à un seul arbre, dites aussi mono-arbre. Elles sont généralement utilisées dans le cas où on cherche un fonctionnement avec une charge constante (pour entraîner les générateurs d'électricité). Un deuxième type, englobe les turbines à deux arbres (bi-arbres). Elles ont l'avantage d'entraîner des appareils à charges variables (pompes, compresseur,...). Elles se composent de deux parties, la première garantit l'autonomie de la turbine (GG), la deuxième est liée à la charge. Un troisième type des turbines dites dérivées de l'aéronautique ; elles ont une conception spéciale suivant le domaine dans lequel elles sont utilisées. Dans ce type, la partie qui garantit l'autonomie de la turbine existe toujours, et l'énergie encore emmagasinée dans les gaz d'échappement est utilisée pour procréer la poussée, en transformant cette énergie (thermique et de pression) en une énergie cinétique de jet dans une tuyère.

### I.7.2. par le mode de fonctionnement thermodynamique

Il existe deux cycles thermodynamiques :

- **Turbine à gaz à cycle ouvert** : l'aspiration et l'échappement dans cette turbine s'accomplissent directement dans l'atmosphère. Ce type de turbine qui est le plus répandu et se divise en deux classes :

- **Turbine à cycle simple** :

Un seul fluide pour la génération d'énergie mécanique est utilisé dans ce type turbine, après la détente les gaz possédant encore un potentiel énergétique sont perdus dans l'atmosphère à travers l'échappement.

- ✓ **Turbine à cycle régénéré** :

Dans ce type de turbine, le cycle thermodynamique fait intervenir plusieurs fluides moteurs dans le but d'agrandir le rendement d'équipement. Actuellement, une large utilisation de la turbine à gaz est dans différents domaines et particulièrement dans le domaine des hydrocarbures à cause de leur grande gamme de puissance et leurs propres avantages.

- ✓ **Turbine à gaz à cycle fermé** :

Dans laquelle le même fluide est repris après chaque cycle. On va détailler dans la suite la turbine à gaz à circuit ouvert et fermé pour leurs importances et leurs utilisations dans le domaine de génération de l'électricité [5].

### I.7.3. par le mode de travail

On classe deux types de turbine :

• **Turbine à action** : Où l'énergie thermique est convertie absolument en énergie cinétique dans la directrice. La transformation des gaz dans la roue se fait sans changement de pression statique  $P_1 > P_2 = P_3$ .

• **Turbine à réaction** : Dans ce type de turbine ; une conversion d'une partie d'énergie thermique en énergie cinétique et mécanique est fait dans la roue. La transformation des gaz dans la roue se fait avec variation de la pression statique  $P_1 > P_2 > P_3$ .

### I.8. L'alternateur

L'alternateur est un élément mécanique appartenant à la motorisation des véhicules composé d'une bobine et d'un aimant permettant, entre autres choses, à la batterie d'enclencher le démarrage du moteur. Cela est possible grâce au courant électrique produit lors de son fonctionnement. Aussi, pour s'assurer que leur véhicule fonctionne de manière optimale, les conducteurs devront régulièrement procéder à un contrôle de l'alternateur. De plus, une révision de l'alternateur des automobiles est vivement conseillée entre 40 000 et 50 000 kilomètres parcourus car, en cas de panne de l'alternateur de leur véhicule, les usagers de la route ne pourront tout simplement plus démarrer leur automobile.

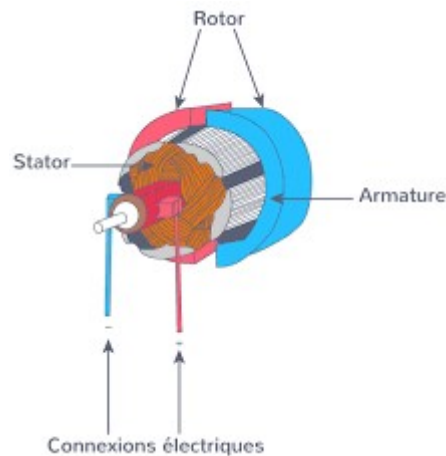


Figure I .6 : Schéma d'un alternateur.

#### I.8.1 Construction de l'alternateur

La composition de l'alternateur est par une partie fixe qui s'appelle stator et une partie tournante s'appelle rotor.

❖ Le stator est appelé induit. La constitution de ce dernier est par les enroulements qui vont être le siège du courant électrique alternatif induit par le changement du flux de champ magnétique due au mouvement relatif de l'inducteur par rapport à l'induit [6].

❖ Le rotor est nommé l'inducteur.

- ✓ D'une part, ce rotor probablement constitue d'un aimant permanent (engendrant dans ce cas, un champ constant), c'est-à-dire, la tension fournie par la machine n'est pas réglable (si on considère que les pertes dans les conducteurs sont négligeables) et sa valeur efficace et sa fréquence varient avec la vitesse de rotation (exemple : micro turbine à gaz qui entraîne l'alternateur).
- ✓ D'une autre part, la constitution de ce rotor est un électroaimant pour assurer l'induction, c'est à dire l'alimentation du bobinage est en courant continu par un collecteur à bague rotatif (un double bague avec balais) amenant une source extérieure ou par un exciteur à diodes tournantes et sans balais. Un système de régulation permet l'ajustement de la tension et de la phase du courant produit (exemple : turbine à gaz ou à vapeur qui entraîne l'alternateur).

### **I.8.1.1 Le Stator**

Le stator de l'alternateur est constitué par un ensemble fixe (statique). C'est une partie active, construit par l'enroulement stator et le circuit magnétique qui convertissant l'énergie mécanique du rotor en énergie électrique et permettant sa transmission vers l'extérieur. L'ensemble circuit magnétique-enroulement est accroché à la carcasse de l'alternateur qui distribue aux fondations les efforts mécaniques engendrés en fonctionnement normal ou accidentel. L'ensemble du stator forme un guide de ventilation des organes internes et supporte également les structures d'extrémités [7].

Les éléments constitutifs du stator sont :

#### **I.8.1.1.1 La carcasse**

L'ensemble de tôles soudées électriquement entre elles qui couvre l'extérieure de l'alternateur est appelé carcasse. Cette carcasse porte à chacune de ses extrémités les paliers. Elle possède aussi un caisson de bornes, de plus, elle est dimensionnée pour pouvoir supporter sans encombre les sollicitations dues à ses fonctions (transport, fonctionnement normal ou accidentel, etc.).

#### **I.8.1.1.2 Le caisson des bornes**

La fixation du caisson des bornes est faite sur la partie supérieure de la carcasse et la réalisation de son cadre est par des tôles soudées. La fermeture du caisson est effectuée par une plaque isolante.

#### **I.8.1.1.3 Le circuit magnétique**

L'utilisation d'un empilage de segments de tôle magnétique spéciale pour construire le circuit magnétique. Il considère parmi les deux composants actifs du stator.

Un système de ressorts nommé suspension élastique est utilisé pour connecter le circuit magnétique avec la carcasse. Cette suspension permet la réduction de propagation des vibrations radiales aux composants du stator, ainsi qu'aux fondations.

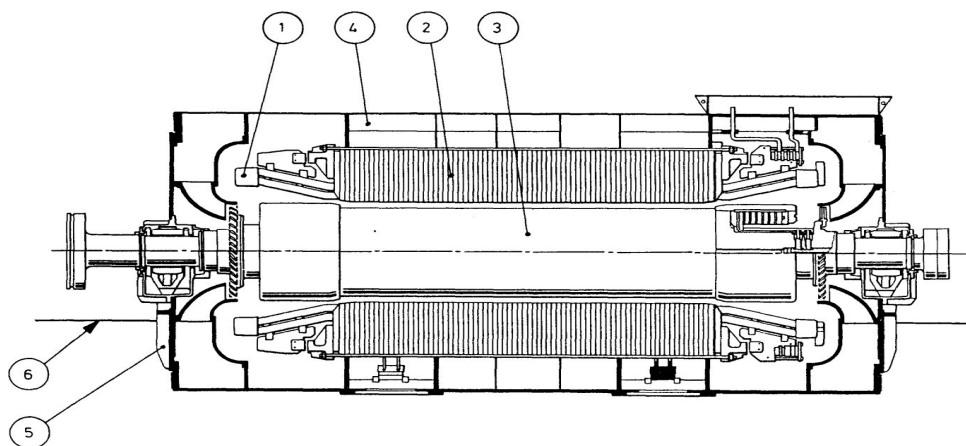
#### I.8.1.1 .4 L'enroulement stator

L'enroulement stator est la partie principale de l'alternateur. Sa construction est par un ensemble de conducteurs immobilisés dans le circuit magnétique. Il est le siège de la puissance électrique générée par l'alternateur et il doit évacuer cette énergie vers l'extérieur. L'enroulement stator est refroidi par un système de refroidissement indirect. Dans les barres stator, le passage du courant entraîne des pertes thermiques qui sont évacuées par le circuit magnétique lui-même refroidi par circulation d'air et par circulation d'air frais dans les développantes. Deux parties de l'enroulement stator sont :

- Dans le circuit magnétique, on trouve la partie droite.
- Les développantes, extérieures au circuit magnétique et permettant une liaison entre les barres des différentes encoches pour la réalisation de cet enroulement.

Il y a aussi des éléments secondaires du stator sont :

- ❖ **Les plaques d'assise** sur lesquelles repose l'alternateur
- ❖ **Le dispositif de réglage latéral** permettant l'ajustement définitif de la position du stator sur la fosse du massif.



1- Enroulement stator.

4- Carcasse alternateur.

2- Circuit magnétique.

5- Paliers.

3 - Rotor.

6- Fondation.

**Figure I.7 :** Vue d'ensemble de l'alternateur[7].

La partie tournante de l'alternateur est le rotor qui entraîne par la turbine. Le rotor porte deux paires de pôles successivement nord et sud, avec une alimentation de ses bobines inductrices est par un courant continu. La division de l'enroulement inducteur est en plusieurs bobines domiciliées dans des encoches longitudinales fraisées dans le fût du rotor. Il compose deux ventilateurs axiaux, aussi relié à la turbine par le plateau d'accouplement. Le rotor de l'alternateur tourne dans des coussinets montés sur des paliers [7]. Les rotors sont à pôles saillants ou à pôles lisses selon qu'ils sont entraînés à basse vitesse par des turbines hydrauliques ou à haute vitesse par des turbines à vapeur [8]. Dans notre étude, c'est le rotor.

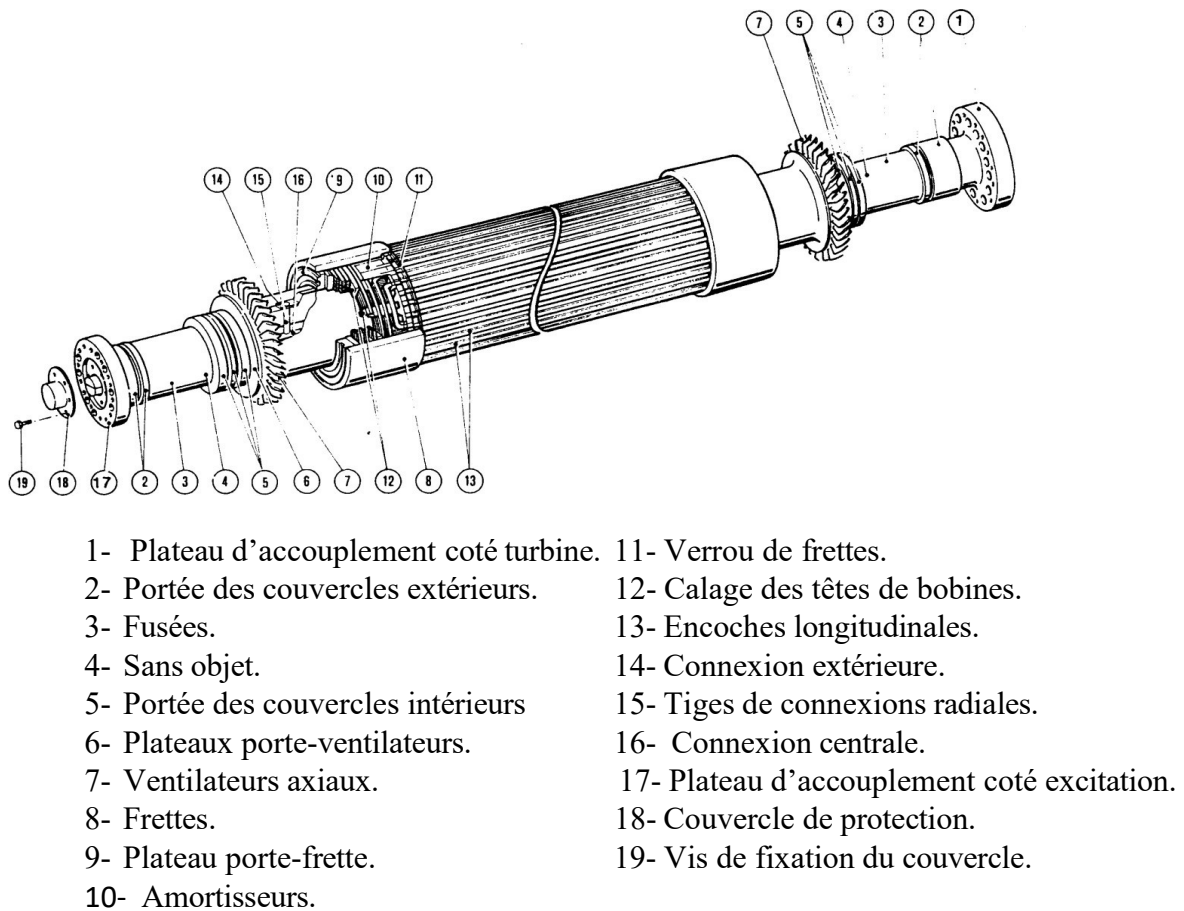


Figure I.8 : Rotor de l'alternateur.

[7].

### I.8.1.2 le rotor

Le rotor de l'alternateur est divisé en plusieurs parties sont :

#### I.8.1.2.1 L'arbre

Deux fonctions principales de l'arbre sont montrées ci-après :

- La production d'un champ tournant est une fonction électrique.
- La transmission du couple est une fonction mécanique. Il compose par deux éléments

---

principaux :

- **Le fût** : Une pièce forgée monobloc qui formant le fût.
- **Les accouplements** : Il existe deux façons d'accouplements, qui sont l'accouplement coté turbine qui garantit le centrage des rotors présents et l'accouplement coté excitation qui permet le centrage et la fixation de la partie mobile de l'excitateur à diodes tournantes par des boulons d'accouplements.

#### **I.8.1.2.2 L'enroulement du rotor**

On distingue deux zones, la première incluse dans le fût et la deuxième hors du fût. Il est formé d'un empilage de spires domicilié dans les encoches du rotor.

#### **I.8.1.2.3 Les frettes et les plateaux porte-frettes**

Les frettes sont des cylindres en acier maintenant les têtes de bobines contre les effets de la force centrifuge et les plateaux porte-frettes sont des anneaux montés avec errage à l'extrémité de la frette. Ces derniers permettent de réduire les déformations que la frette pourrait prendre si elle était seule, montée avec serrage sur le fût.

#### **I.8.1.2.4 Les connexions d'excitation**

Le système d'excitation fournit un courant qui alimente l'enroulement rotor à l'aide des connexions, reliées directement aux bobines rotor.

#### **I.8.1.2.5 Les ventilateurs axiaux**

Sur chaque côté du rotor monte des ventilateurs axiaux, pour créer la surpression nécessaire pour obtenir une circulation d'air à travers le circuit rotor et stator. Directement le rotor est refroidi. Les pertes thermiques principales d'un rotor sont engendrées par l'enroulement inducteur. Elles sont évacuées par circulation d'air dans les bobines.

Les pertes résiduelles de surface du rotor sont évacuées par convection, avec l'air circulant dans l'entrefer.

### **I.8.2 Principe de fonctionnement des alternateurs**

Les alternateurs sont des dispositifs électromécaniques conçus pour convertir l'énergie mécanique en énergie électrique. Leur principe de fonctionnement repose sur l'induction électromagnétique, découvert par Michael Faraday au XIXe siècle. Voici les principes de fonctionnement des alternateurs :

**1. Induction électromagnétique** : Lorsqu'un conducteur électrique est soumis à un champ magnétique variable, un courant électrique est induit dans ce conducteur. Les alternateurs exploitent ce phénomène en utilisant un rotor (partie mobile) pour générer un champ

magnétique variable.

**2. Bobinages de stator :** Le stator est la partie fixe de l'alternateur et contient des bobinages de fils de cuivre enroulés autour de noyaux de fer. Ces bobinages sont disposés de manière à créer un champ magnétique stationnaire lorsqu'un courant électrique y circule.

**3. Rotation du rotor :** Le rotor est la partie mobile de l'alternateur, généralement constituée d'un aimant permanent ou d'un électro-aimant. Lorsque le rotor tourne, il crée un champ magnétique variable autour des bobinages du stator.

**4. Induction de courant alternatif :** Le champ magnétique variable induit un courant alternatif dans les bobinages du stator, conformément à la loi de Faraday. Ce courant alternatif est généré à une fréquence déterminée par la vitesse de rotation du rotor et le nombre de pôles magnétiques du rotor.

**5. Redressement :** Dans de nombreux systèmes, le courant alternatif généré par l'alternateur est redressé en courant continu à l'aide de diodes ou d'autres dispositifs électroniques, pour être utilisé dans les applications nécessitant du courant continu.

En résumé, les alternateurs fonctionnent en exploitant l'induction électromagnétique pour convertir l'énergie mécanique en énergie électrique sous forme de courant alternatif.

### I.8.3 Les type de L'alternateur

Les utilisateurs alternatifs disposent de dispositifs électroniques qui convertissent la machine énergétique en énergie électrique alternative. Il est utilisé dans une grande variété d'applications, pas dans les appareils électriques centraux, les véhicules, les fenêtres, etc. Voici les types d'alternateurs proposés :

- **Alternateurs synchrones :** Il produit un alternateur fréquent sans que la fréquence ne se synchronise avec la rotation de l'alternateur. Ces utilisateurs suppléants doivent les utiliser dans les prises électriques centrales pour leur fournir des appareils électriques.
- **Alternateurs asynchrones (ou alternateurs en induction) :** Contrairement aux alternateurs synchrones, ils ne sont pas synchronisés avec la fréquence du réseau électrique. Il peut également être utilisé dans diverses applications, comme dans d'autres applications.
- **Alternateurs à aimants permanents :** Ces utilisateurs alternatifs utilisent des aimants permanents ainsi que des électroaimants pour générer le champ magnétique nécessaire à la production électrique. Il doit également être utilisé dans des applications de maintenance hautement efficaces et efficientes.
- **Alternateurs au courant actuel :** Il produit également un courant continu et utilise des

---

commutateurs pour redresser le nouveau courant. Il est utilisé dans certaines applications spécifiques nécessitant une maintenance continue, ainsi que dans les systèmes de recharge des véhicules automobiles.

- **Déclenchements des Alternateurs** : Ils produisent trois alternatifs différents à 120 degrés à la fois. Celui-ci alterne entre des utilisations correctes dans des applications industrielles et des équipements électriques en triphasés.
- **Alternatives au double rendement** : Il s'agit de sources alternées sur des sources d'excitation, une source principale et une source auxiliaire, qui permettent de piloter un meilleur contrôle de tension. Il existe différents types d'alternateurs dans leurs applications spécifiques, leurs caractéristiques de performance et leurs modes fonctionnels.

## Conclusion

Le turbo-alternateur est un dispositif essentiel dans la conversion d'énergie, reliant la turbine à gaz et l'alternateur pour produire de l'électricité. La turbine à gaz, par ses processus de compression, combustion et expansion, transforme l'énergie chimique en énergie mécanique. Cette énergie est ensuite convertie en électricité par l'alternateur, constitué du stator et du rotor. La diversité des types de turbines à gaz et d'alternateurs permet de s'adapter à diverses applications industrielles et domestiques, garantissant une production et une distribution d'énergie efficaces et fiables. La maîtrise de ces technologies est essentielle pour répondre aux défis énergétiques actuels et futurs.

## *Chapitre II :*



## II.1 Introduction

La maintenance est très importante pour toutes les installations industrielles. En général, une installation de production est nécessaire et une combinaison de ressources matérielles et humaines pour un bon fonctionnement. Ils ne peuvent pas répondre aux expériences de service après avoir surmonté les obstacles, n'entretiennent pas les équipements utilisés en production. Construire une utilisation ou un atelier qui n'a pas une capacité suffisante sans une production importante, un personnel qualifié ou un système organisé qui permet de maintenir les installations en bon état. Dans ce chapitre, nous devons définir la maintenance, citer les différents types de maintenance. Ensuite, nous présentons une approche très importante de la fonction d'analyse du concept FMD et de la méthode ABC.

## II.2 La maintenance

### II.2.1 Définition de la maintenance :(norme NF EN 13306)

La maintenance est l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise. [8]

### II.2.2 Différents types de maintenance

L'organigramme illustré dans la Fig. I.1 montre les deux types de maintenance (préventive et corrective) et résume leur fonction. On remarque que la maintenance préventive est divisée en deux types de maintenance :

- 1- maintenance systématique
- 2- maintenance conditionnelle qui conduit à la maintenance prévisionnelle programmée pour diagnostic précis de l'état de l'installation effectué pendant le fonctionnement.

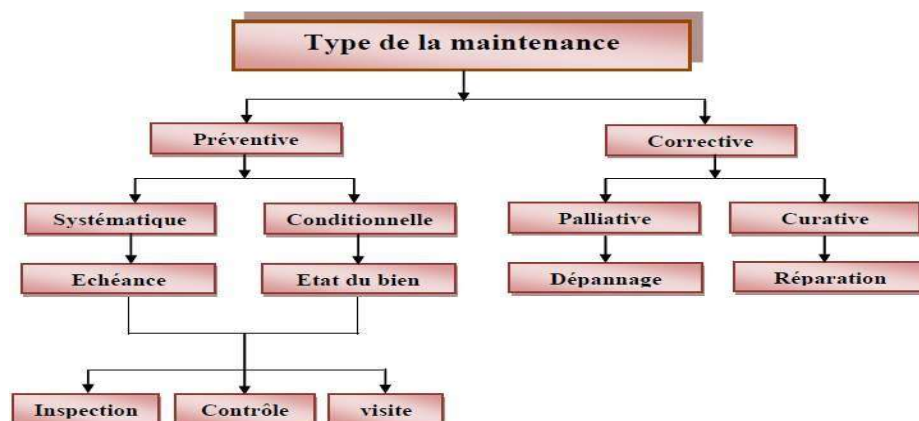


Figure II .1 : type de la maintenance.

### II.2.2.1. La définition de la maintenance corrective

La norme NF EN 13306 définit la maintenance corrective comme suit : exécution d'une opération après détection d'une panne pour remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise [9].

Dans ce type de maintenance on attend l'apparition de la panne pour intervenir. On distingue deux aspects de maintenance : la maintenance palliative et la maintenance curative.

✓ Maintenance palliative : est définie par l'opération de dépannage dans le cas d'une panne partielle, son objectif est de gommer les conséquences de la panne et permettre au matériel de fonctionner jusqu'à l'arrêt préventif.

✓ Maintenance curative : est définie par l'opération de réparation dans le cas d'une panne totale, le but de cette maintenance est de remettre le matériel en marche [9].

### II.2.2.2. La définition de la maintenance préventive

La maintenance préventive destinée à minimiser la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien [10]. Les opérations de cette maintenance sont réalisées par des interventions prévues, préparées et programmées selon des critères différents pour éviter la défaillance probable. Il existe plusieurs opérations de maintenance préventive [11] :

- ❖ le nettoyage,
- ❖ Lubrification des points de frottement,
- ❖ La visite et l'inspection réalisées à l'arrêt et en marche, par les utilisateurs comme par les professionnels de la maintenance,
- ❖ Le contrôle,
- ❖ La révision partielle ou totale,
- ❖ L'analyse des vibrations (mesure) et des huiles. Dans ce type de maintenance on distingue

#### a) La maintenance préventive systématique

La maintenance préventive systématique est définie par la norme AFNOR X 60-010 [12] comme étant un ensemble des activités correspondantes déclenchées selon un plan établi à partir d'un nombre prédéterminé d'unités d'usage. Les changements des pièces et des fluides ont lieu quel que soit leur état de dégradation, et ce de façon périodique.

#### b) La maintenance préventive conditionnelle

Cette maintenance se traduit par une surveillance des points sensibles des équipements et est définie par la norme AFNOR X 60-010 [12] comme étant un ensemble des activités de maintenance déclenchées selon des critères prédéterminés et significatifs de l'état de

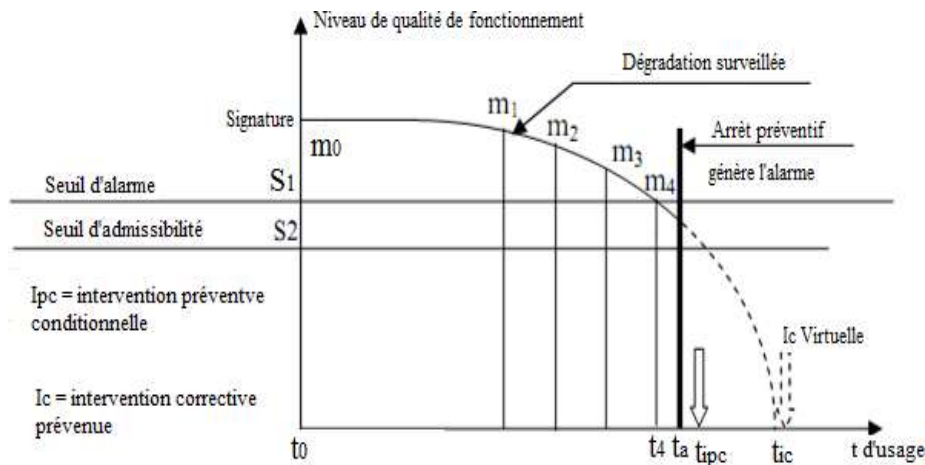
dégradation du bien ou du service.

**c) La maintenance prédictive (prévisionnelle)**

La maintenance prédictive est l'étape finale de l'entretien, elle est réalisée d'après les prévisions imaginées de l'analyse et de l'appréciation des critères significatifs de la dégradation du bien (norme NF EN 13306) [17].

**II.2.3. Le principe de la maintenance conditionnelle**

La Fig. II.2 montre le principe de la maintenance conditionnelle (les interventions de la maintenance préventive conditionnelle). Une intervention préventive conditionnelle (IPC) programmée, s'il y a une mesure périodique d'une dégradation touchant le seuil d'alarme (un arrêt préventif) [17].



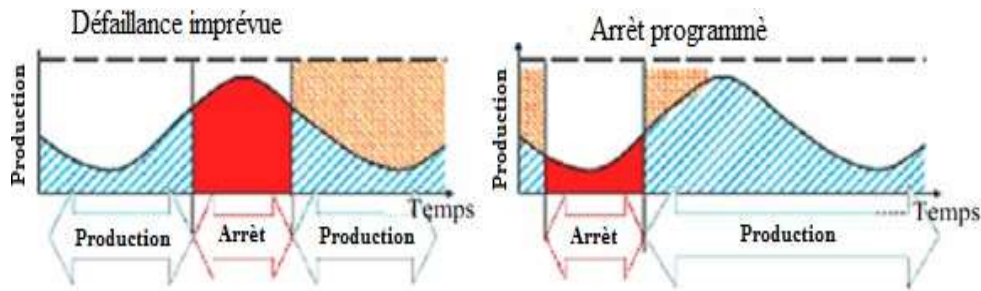
**Figure II.2 :** L'intervention de la maintenance conditionnelle [12].

La signature est définie par une prise de référence de l'état de bon marche à l'origine. Les mesures sont de simples observations visuelles, des images (spectre...). Probablement, elles sont changées par des alertes présélectionnées, ou des visites espacées de  $\Delta t$  de telle façon que la dégradation à prévenir ne puisse échapper à la surveillance :

$$\Delta t < t_{\text{admissibilité}} - t_{\text{alarme}}$$

La connaissance de la loi de dégradation, nous permet de prendre des mesures qui ne peuvent pas débuter à  $t_0$  (sauf signature). Les mesures peuvent être collectées par rondes au niveau du centre de surveillance.

- ❖ l'arrêt sera demandé automatiquement par l'alarme, ou différé par une décision volontaire jusqu'à l'IPC programmée et organisée.
- ❖ l'intervention préventive conditionnelle sera préparée à partir de l'alarme, selon un temps de réflexe du service de maintenance prédéterminé.



**Figure II.3.** Le temps d'intervention de la maintenance et son impact sur la production [13].

#### II.2.4. Les différentes techniques de la maintenance préventive conditionnelle

Les techniques de la maintenance préventive conditionnelle sont utilisées pour suivre et surveiller les installations industrielles ou les systèmes électromécaniques, parmi ses techniques on distingue :

##### II.2.4.1. L'analyse de vibrations

La surveillance par l'analyse vibratoire des systèmes électromécaniques dans les installations industrielles est l'outil préventif de la maintenance. Cette technique est largement utilisée dans la majorité des installations. Elle détecte pratiquement toutes les anomalies susceptibles d'apparaître dans les machines tournantes. Un défaut d'alignement, un roulement usé, ou un jeu, s'explique par un changement des efforts internes que subit la machine, cela conduit à une modification de son comportement vibratoire [14].

On peut suivre et surveiller l'état d'un équipement, si on place des capteurs de vibration aux endroits où se transmettent ces efforts (sur les paliers des machines). L'avantage principal de l'analyse vibratoire est la facilité de prendre des mesures, la détection des défauts à un stade précoce et la possibilité de réaliser un diagnostic approfondi pour déterminer l'origine [14].

##### II.2.4.2. L'analyse des huiles

L'analyse des huiles est une autre technique de surveillance, qui décide l'état d'huile ou de graisse utilisée dans l'appareillage. La méthode consiste à analyser les particules d'usure drainées par le lubrifiant, afin d'en inférer l'état de l'installation [15].

##### II.2.4.3. La technique de la thermographie

Dans le domaine de la maintenance, la thermographie infrarouge joue un rôle très important. Elle est réservée pour le contrôle d'installations électriques et peut être utilisée dans la surveillance des machines tournantes.

Pour déterminer la condition de fonctionnement, elle emploie l'instrumentation conçue pour

---

Surveiller l'émission de l'énergie infrarouge (température de surface). En décelant des anomalies thermiques (les endroits qui sont plus chauds ou plus froids), un expert peut identifier et expliquer les problèmes débutants au sein de l'usine.

Les éléments de base d'un appareil infrarouge industriel sont le système optique, les capteurs de rayonnement, et d'autre forme d'indicateur. Le système optique collecte l'énergie sur un capteur pour la transformer en signal électrique, puis un dispositif électronique amplifie le signal de sortie et le transforme en une mode affichable.

La thermographie autorise d'accomplir des mesures à distances, et de procurer instantanément une représentation thermique de la zone contrôlée [14].

#### **II.2.4.4 L'analyse acoustique**

L'analyse acoustique est une technique de la maintenance préventive conditionnelle, permet de détecter les défauts par l'étude des ondes et des vibrations sonores acoustiques générés par les systèmes électromécaniques.

La mesure de son (bruit) effectuée à l'aide d'un sonomètre qui évalue le niveau de pression acoustique. Ce dernier est ainsi transformé en un signal électrique, comparable en amplitude et en fréquence au phénomène acoustique. Le signal électrique peut être conditionné, échantillonné et traité de manière à caractériser le bruit mesuré. On peut ainsi par exemple déterminer des valeurs acoustiques exprimées en dB(A), effectuer des analyses fréquentielles, des analyses statistiques, et intégrer le signal sur une durée déterminée.

#### **II.2.5. Le choix de la technique de surveillance**

Chaque technique de surveillance, ne permet pas de capter les mêmes types de défauts, ni d'opérer un diagnostic détaillé pour connaître l'origine, la gravité du défaut et le domaine d'application favorisé pour chaque technique de surveillance, voir (Tableau II.1, et II.2). Donc, avant de préférer la technique de surveillance, il doit déterminer la criticité de sa machine à l'aide de l'historique de défaillances qui touchent cette dernière et son dossier technique [15].

##### **II.2.5.1 La comparaison entre les techniques de maintenance préventive conditionnelle**

Les éléments de comparaisons entre les différentes techniques de la maintenance préventive conditionnelle [15] sont montrés dans le tableau ci-dessous

Tableau. II.1. Comparaisons des outils de maintenance préventive conditionnelle

	Principaux privilèges	Principales limitations	Domaine d'applications favorisé
Analyse de vibration	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Découverte de défauts à une étape précoce</li> <li>- Occasion d'effectuer un diagnostic détaillé</li> <li>- Permet une surveillance continue</li> <li>- Autorise le contrôle de l'équipement à distance (télémaintenance)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Spectres parfois difficiles à expliquer</li> <li>- Dans le cas de la surveillance continue, équipements relativement coûteuses</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Découverte des défauts de tous les éléments cinématiques de la machine (balourd, défauts d'alignement, jeux, etc.) et de sa structure</li> </ul>
Analyse d'huiles	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dépistage d'une pollution anormale du lubrifiant, avant que celle-ci n'entraîne une usure ou un dommage</li> <li>- Occasion de connaître l'origine de l'anomalie par analyse des particules</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- N'autorise pas de localiser régulièrement le défaut</li> <li>- Nécessite de prendre de nombreuses précautions dans le prélèvement de l'échantillon</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vérification des propriétés physico-chimiques du lubrifiant, découverte d'un manque de lubrification, analyse des éléments d'usure, analyse de transmission par le processus (étanchéité), etc.</li> </ul>
Thermographie	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Permet d'effectuer un contrôle rapide de l'installation</li> <li>- Interprétation souvent immédiate des résultats</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Découverte de défauts à un stade moins précoce que l'analyse vibratoire</li> <li>- Contrôle limité à ce que "voit" la caméra (échauffements de surface)</li> <li>- Ne permet pas d'accomplir un diagnostic approfondi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Localisation de tous les défauts produisant un échauffement (manque de lubrification en particulier)</li> </ul>

II.2.6. Avantages et inconvénients de la maintenance préventive conditionnelle

Le principal avantage de la maintenance préventive conditionnelle est d'éviter les arrêts des machines tournantes et des systèmes électromécaniques. Il faut utiliser des outils de ce type de maintenance pour contrôler l'état de la machine pour réduire sa probabilité de défaillance.

Il existe quatre outils principaux utilisés en maintenance préventive conditionnelle [15] :

Type de défauts	Analyse vibratoire	Thermographie IR	Analyse d'huiles	Analyse acoustique
Déséquilibres, balourd	Oui	Non (sauf s'il y a usure)	Oui (s'il y a un échauffement)	Non
Jeux, défauts de serrage	Oui	Non (sauf s'il y a usure)	Oui (s'il y a un échauffement)	Oui (s'il y a une résonance)
Défauts spécifiques aux Roulements	Oui	Oui	Oui	Oui
Défauts spécifiques aux Engrenages	Oui	Oui	Oui	Oui
Défauts de courroies	Oui	Non	Oui	Oui
Défauts d'alignement	Oui	Non	Oui	Non
Défauts liés à la lubrification : - dégradation de la qualité de l'huile	Non (sauf paliers fluides)	Oui	Non	Oui
manque d'huile	Oui	Oui	Oui	Oui
Défauts de nature électrique ou électromagnétique	Oui	Non	Oui	Oui
Défauts liés aux écoulements (pour pompes et machines hydrauliques)	Oui	Non	Non	Oui

- La thermographie infrarouge
- L'analyse des huiles
- L'analyse vibratoire et l'analyse acoustique

L'inconvénient principal de la maintenance préventive conditionnelle est la mise en place de ces techniques.

### II.2.7 Les objectifs de la maintenance préventive conditionnelle

Plusieurs objectifs sont atteints, si on applique la maintenance préventive conditionnelle. Ces objectifs sont résumés comme suit [16, 17 et 13] :

---

**II.2.7.1 Amélioration de la fiabilité des éléments du système**

L'application de la maintenance préventive conditionnelle nécessite des analyses techniques du comportement du système. Cela permet de supprimer certains défauts et pratiquer une maintenance préventive optimale.

**II.2.7.2 Assurer la qualité des produits**

La surveillance habituelle facilite la détection des signes de défaillance. On règle les paramètres en respectant le fonctionnement des systèmes électromécaniques. Dans ce cas, la qualité des produits est assurée et le rendement est augmenté.

**II.2.7.3 Améliorer l'organisation des tâches**

La surveillance permanente des machines de production assure la réduction de risque d'avarie grave et la garantie de fonctionnement sans arrêt. Cela engage une bonne coordination entre les services de production et de maintenance pour la programmation des interventions et le respect du plan de maintenance.

**II.2.7.4 Garantir la sûreté de fonctionnement**

L'assurance de la sécurité humaine et la sûreté de fonctionnement sont basés sur les interventions de la maintenance préventive et les critères de la sécurité pour éviter les risques dangereux.

**II.2.7.5 Développement de la gestion des stocks**

Le fonctionnement d'organe au maximum de leur durée de vie demande une surveillance rapprochée. La demande en pièce de rechange peut être réduite, avec la provision des pièces de rechange suivant les nécessités réelles. Une disposition et une amélioration de la gestion des stocks est nécessaire pour minimiser les coûts des pièces de rechange.

**II.2.7.6 Améliorer le climat de relation humaine**

L'intervention rapide par les opérations de la maintenance réduit le temps d'arrêt et la perte de production. Certaines difficultés, comme l'absence de pièces de rechange, entraînent un arrêt de la machine pendant un temps considérable, cela provoque un déséquilibre entre la production et la maintenance. La maintenance préventive conditionnelle demande un personnel qualifié dans le domaine de maintenance pour des interventions ciblées et organisées.

**II.2.7.7 Réduction du coût global de la maintenance**

L'amélioration et l'augmentation de la disponibilité des équipements est le but principal de la maintenance préventive conditionnelle. Ce type de maintenance réduit les arrêts systématiques et augmente le rendement du système.

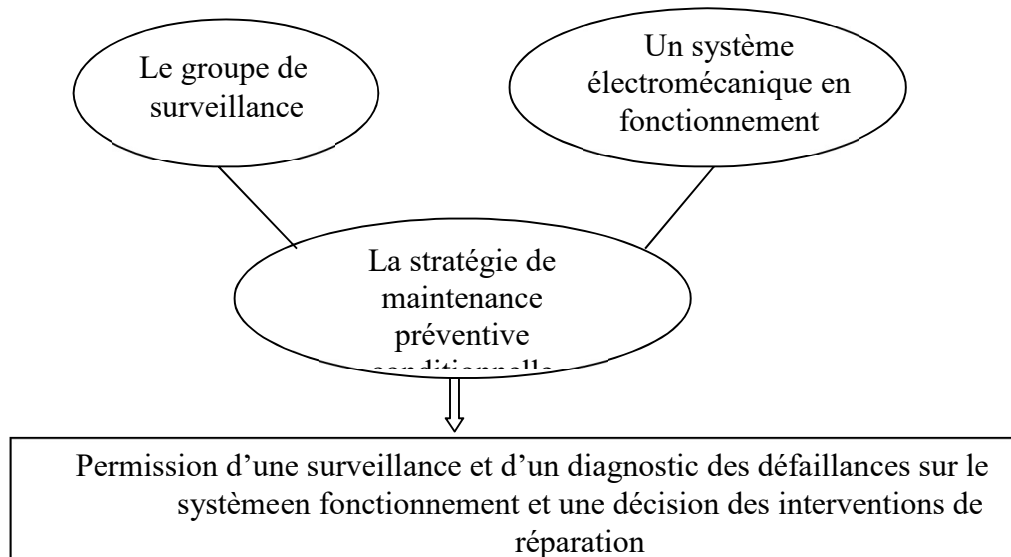
---

Le cout total de la maintenance est réduit car la surveillance permet de découvrir les petits défauts de la conception ou du fonctionnement, et aussi l'observation de l'évolution d'une dégradation évite les destructions d'organes voisins par défaillance secondaire. Le risque de rupture importante de la machine est éloigné et la durée de vie de l'installation est prolongée.

### **II.2.8. Le choix d'une stratégie de maintenance**

Généralement la maintenance exige une combinaison permanente rationnelle des moyens, donc elle demande une politique d'entretien préalablement établie. La stratégie de maintenance, qui résulte de la politique de maintenance, impose des choix pour atteindre, voire dépassé, les objectifs fixés

Dans le domaine de maintenance, les recherches ont pour but de mettre une stratégie de maintenance préventive conditionnelle basée sur l'utilisation d'outils appropriés et adaptée à un système électromécanique. Cette stratégie de maintenance permettra au groupe de surveillance de localiser et d'identifier les défauts qui apparaissent sur le système en fonctionnement, et d'établir les opérations de maintenance correctives soit le dépannage ou la réparation (Fig. II.4) [18]



**Figure. II.4 :** La fonction globale d'une stratégie de maintenance préventive conditionnelle

La définition de la stratégie de maintenance au niveau de l'entreprise comme étant des objectifs technico-économiques, fréquemment doublés d'impératifs de sécurité et de contraintes réglementaires proportionnels à la prise en charge des installations par le service de maintenance. Le choix de la stratégie de maintenance est déterminé par l'estimation du coût global de la durée de vie, en se basant sur des contraintes bien identifiées.

La détermination de la somme globale des coûts selon la durée de vie optimale d'une machine est déterminée par l'expression suivante :

$$CG = CA + CF + CTM - VRE \quad (\text{II.1})$$

CA : coût d'achat

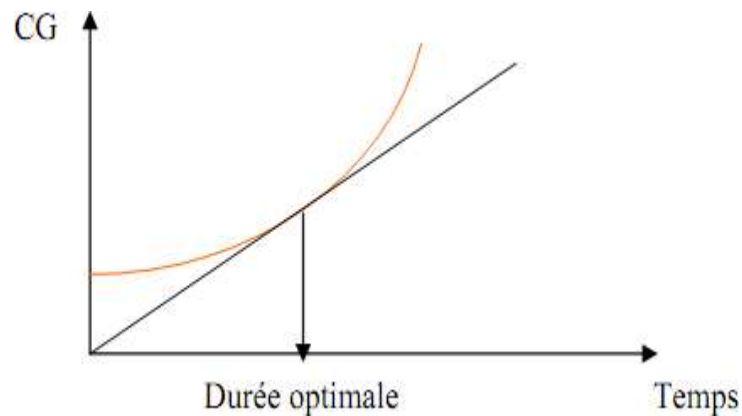
CF : coût de fonctionnement

CTM : coût total de maintenance

VRE : valeur de revente éventuelle

Le coût global de la maintenance augmente avec le temps de fonctionnement de la machine et la valeur de revente diminue [9].

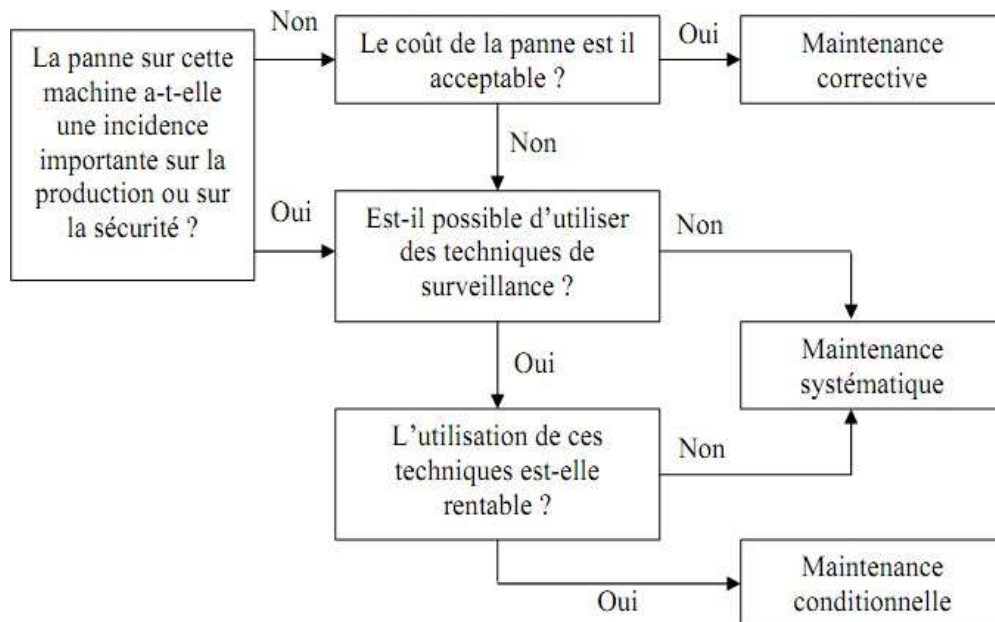
La durée de vie idéale coïncide avec l'abscisse du point de contact de la tangente à la courbe passant par l'origine Figure. II.5 [9]



**Figure. II.5 :** La durée de vie optimale

L'estimation du coût global de la maintenance est réalisée par le choix d'un type de maintenance adéquate pour chaque machine ou groupe de machines.

On prend des paramètres de choix simple, comme résumés dans la Fig. I.6 [9].



**Figure. II.6 :** La stratégie de la maintenance.

### II .2.9 Les niveaux de maintenance

Pour faciliter principalement la gestion des personnels affectés à la maintenance, on définit:

- **niveau 1** : réglages simples sans démontage, rondes et surveillance pendant lamarche.
- **niveau 2** : dépannage par échange standard d'éléments prévus à cet effet et Opérations mineures.

- **Niveau 3** : identification et diagnostic de pannes, réparation ou remplacement d'éléments fonctionnels.
- **Niveau 4** : travaux de maintenance corrective ou préventive nécessitant des démontages importants.
- **Niveau 5** : rénovation, reconstruction, modifications importantes faisant appel à une main d'œuvre qualifiée. [19]

## II.3 La fiabilité

### II.3.1 Définition

La fiabilité caractérise l'aptitude d'un système ou d'un matériel à accomplir une fonction requise dans des conditions données pendant un intervalle de temps donné. [20]

### II.3.2 Objectifs de la fiabilité

La fiabilité a pour objectif de :

- Mesurer une garantie dans le temps.
- Evaluer rigoureusement un degré de confiance.
- Déchiffrer une durée de vie.
- Evaluer avec précision un temps de fonctionnement.
- Déterminer la stratégie de l'entretien.
- Choisir le stock. [21]

### II.3.3 L'utilité de l'analyse de la fiabilité

L'analyse de la fiabilité, également connue sous le nom de gestion de la fiabilité, est une discipline importante dans de nombreux domaines, notamment l'ingénierie, la technologie, l'industrie, l'aérospatiale, l'automobile, l'informatique et bien d'autres. Voici quelques-unes des principales utilités de l'analyse de la fiabilité:

- **Évaluation des performances et de la durée de vie:** L'analyse de la fiabilité permet d'évaluer la durée de vie prévue d'un système ou d'un composant. Cela aide les ingénieurs à concevoir des produits plus durables et fiables en identifiant les points faibles potentiels dès la phase de conception.
- **Optimisation de la maintenance :** En comprenant la probabilité de défaillance d'un système ou d'un composant, les entreprises peuvent planifier et effectuer la maintenance de

- manière proactive, réduisant ainsi les temps d'arrêt imprévus et les coûts associés à la réparation.
- **Amélioration de la qualité** : En identifiant les causes sous-jacentes des défaillances, les entreprises peuvent apporter des améliorations continues à leurs processus de fabrication et de conception, ce qui se traduit par des produits de meilleure qualité et plus fiables.
- **Gestion des risques** : Comprendre la fiabilité d'un système permet de mieux évaluer les risques associés à son utilisation. Cela est particulièrement crucial dans les industries où la sécurité et la fiabilité sont des préoccupations majeures, comme l'aérospatiale, l'énergie nucléaire et les soins de santé.
- **Optimisation des ressources** : En identifiant les composants critiques et les modes de défaillance les plus probables, les entreprises peuvent allouer leurs ressources de manière plus efficace, en se concentrant sur les aspects qui ont le plus d'impact sur la fiabilité globale du système.
- **Conformité réglementaire** : Dans de nombreux secteurs, il existe des réglementations strictes en matière de fiabilité et de sécurité. L'analyse de la fiabilité aide les entreprises à se conformer à ces normes et réglementations, ce qui est essentiel pour garantir la sécurité des produits et des services proposés.
- **Gestion des coûts** : En comprenant les coûts associés aux défaillances et à la maintenance, les entreprises peuvent prendre des décisions plus éclairées en matière de conception, d'achat et de maintenance, ce qui peut aider à réduire les coûts globaux sur le cycle de vie d'un produit ou d'un système.

En résumé, l'analyse de la fiabilité est une composante essentielle de la gestion des systèmes et des produits dans de nombreux domaines, permettant aux entreprises d'améliorer la qualité, la durabilité, la sécurité et l'efficacité de leurs produits et services.

### II. 3.4 Principales lois de probabilité utilisées en fiabilité

Dans les études de fiabilité des différents équipements, une variable aléatoire continue ou discrète peut être distribuée suivant diverses lois qui sont principalement : [20]

- **La loi exponentielle.**
- **La loi de WEIBULL.**
- **La loi normale.**

➤ La loi log-normale (ou loi de GALTON).

➤ La loi binomiale.

### II. 3.5 Paramètres nécessaires à la mesure de fiabilité [22]

#### II. 3.5.1 Taux de défaillance

Noté  $\lambda(t)$ , c'est l'indicateur de la fiabilité. Il représente une proportion de dispositifs

Survivants à un instant (t). [14]

Sa forme générale est 
$$\lambda(t) = \frac{\text{Nomre de défaillances}}{\text{durée d'usage}} \quad (\text{II.2})$$

Le plus fréquemment, il s'exprime en « panne/heure »

Le taux de défaillance suit une courbe en baignoire représenté sur la figure suivante :

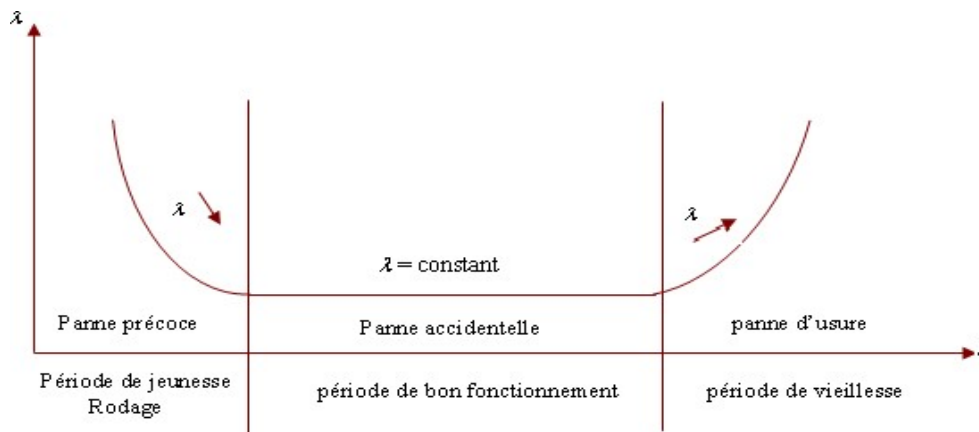


Figure II.7 : Courbe en baignoire

#### II. 3.5.2 Densité de probabilité

Généralement en fiabilité elle est noté  $f(t)$  est représenté la probabilité de défaillance dans un instant (t). [23]

$$f(t) = \lambda(t)e^{-\int_0^t \lambda(u)du} \quad (\text{II.3})$$

#### II. 3.5. 3 Fonction de répartitions

$F(t)$  est la notation générale de la probabilité de défaillance dans l'intervalle de temps. [23]

$$F(t) = \int_0^t f(x)dx = 1 - e^{-\int_0^t \lambda(u)du} \quad (\text{II.4})$$

$$F(t) = \int_0^t f(x)dx \quad (\text{II.5})$$

#### II. 3.5. 4 Fonction de fiabilité

Elle représente la probabilité de non défaillance dans l'intervalle de temps  $[0, T]$  ; c'est la fonction complémentaire de la fonction de répartition. [23]

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (\text{II.6})$$

$$R(t) = \int_t^{+\infty} f(x)dx = 1 - F(t) = e^{-\int_0^t \lambda(u)du} \quad (\text{II.7})$$

$$R(t) = \int_t^{+\infty} f(x)dx \quad (\text{II.8})$$

### II.3.6 Méthodes d'approximation des valeurs de la fonction de répartition

On dispose pour nos études de fiabilité d'un certain nombre de données Expérimentales ou réelles sur les TBF ; TBF dont on veut étudier la fonction de répartition. Ces données représentent un échantillon « n » de la population que l'on veut appréhender. Elles doivent être classées par ordre croissant de durée (en heures, jours, etc.), suivant l'unité la plus adaptée. L'estimation de la fonction de densité pour une durée (ti) est donnée par :

$$F(t) = ni / N + 1 \quad (\text{II.9})$$

Or, ce n'est pas la fonction de densité qui nous intéresse mais la fonction de répartition F (ti). Cette fonction de répartition peut être estimée selon plusieurs méthodes dont deux sont particulièrement applicables pour les lois de fiabilité (exponentielle et Weibull) : ce sont les méthodes des **rangs médians** et des **rangs moyens**. Le choix entre l'une ou l'autre des méthodes est fonction de la taille « N » de l'échantillon. [24]

- Si  $n \leq 20$ , on utilise la méthode des rangs médians :  $F(t_i) = \frac{\sum ni - 0,3}{N + 4}$  (II.10)

- Si  $n > 20$ , on utilise la méthode des rangs moyens :  $F(t_i) = \frac{\sum ni}{N + 1}$  (II.11)

### II.3.7 La loi de Weibull

Proposée par l'ingénieur et mathématicien suédois Ernst Hjalmar Waloddi Weibull (1887-1979), la loi de Weibull est une loi de probabilité à 3 paramètres qui est très utilisée pour modéliser la durée de vie des produits en raison de sa grande flexibilité. [25]

#### ❖ Signification des paramètres

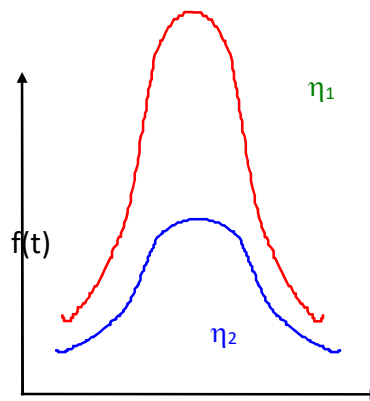
- ✓  $\beta$  Paramètre de forme bêta ( $\beta$ )  $> 0$  sans dimension : Ce paramètre donne des indications sur le mode des défaillances et sur l'évolution du taux de défaillances dans le temps.

- Si  $\beta > 1$ , le taux de défaillance est croissant, caractéristique de la zone de vieillesse
- ✓  $1,5 < \beta < 2,5$  : fatigue
- ✓  $3 < \beta < 4$  : usure, corrosion
- 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

**Remarque** : pour  $\gamma = 0$  et  $\beta = 1$ , on retrouve la distribution exponentielle, cas particulier de la

Loi de Weibull :  $\lambda = \frac{1}{n} = \frac{1}{MTBF}$  (II.11)

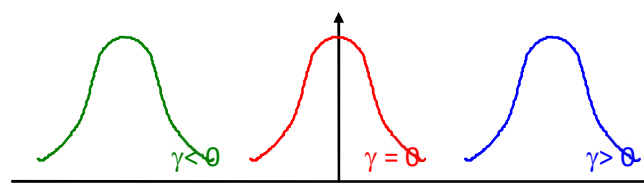
✓  $\eta$  Paramètre d'échelle (Netta ( $\eta$ ) > 0) qui s'exprime dans l'unité de temps : Ce paramètre permet d'utiliser le papier d'Allen Plait quel que soit l'ordre de grandeur de t. Il n'a donc pas à être interprété. [25]



**Figure II.8** : la densité.

Avec  $\eta_2 < \eta_1$

➤  $\gamma \rightarrow$  paramètre de position,  $-\infty < \gamma < +\infty$ , qui s'exprime dans l'unité de temps :



**Figure II.9** : La densité.

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

### II.3.7.1 Détermination graphique des paramètres de la loi de Weibull

La courbe est tracée sur un papier spécial appelé papier de Weibull ou d'Allen Plait, ce qui permet de tracer une droite et de simplifier les calculs. [26]

a) Schématisation des axes

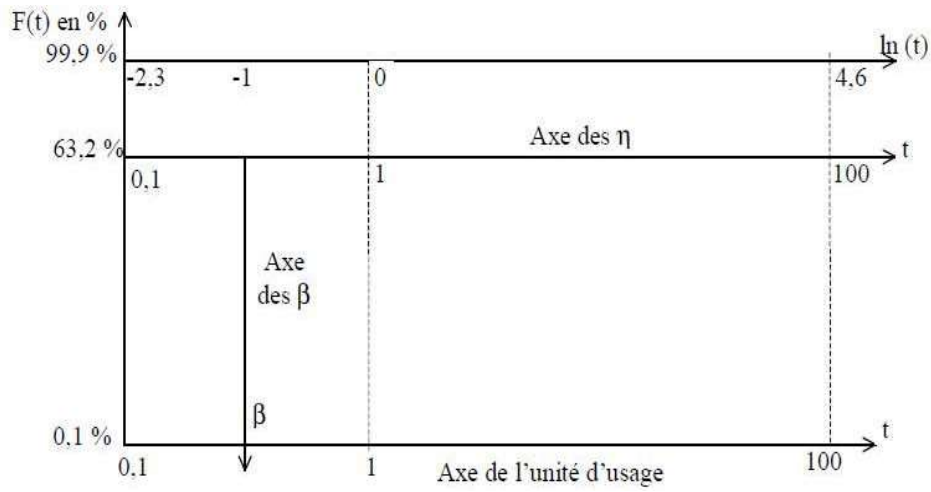


Figure II.10 : Schématisation des axes.

b) Aspect du papier de Weibull

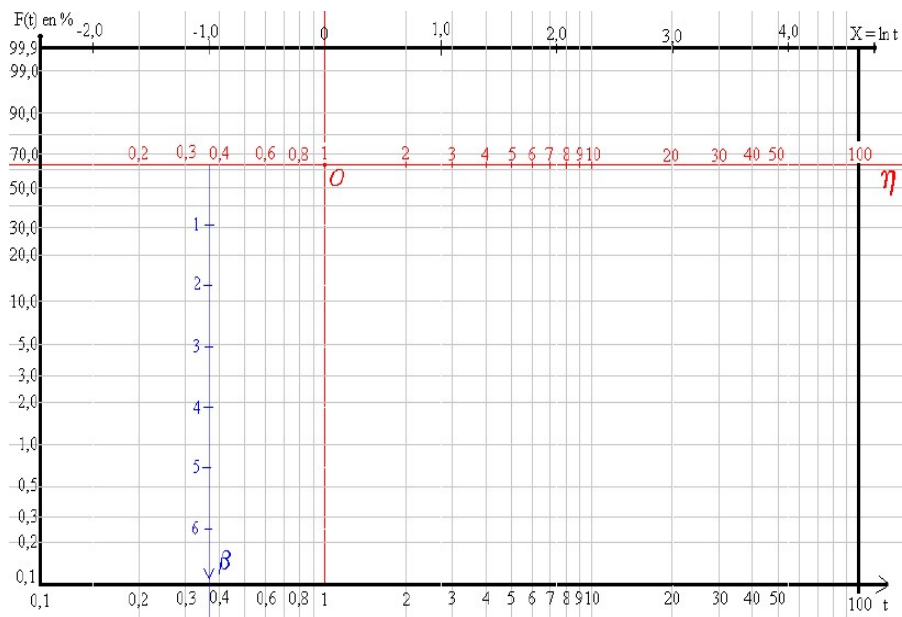


Figure II.11 : Papier de Weibull

a) Taux de défaillance :

Son taux instantané de défaillance  $\lambda(t)$  est un estimateur de fiabilité. Il s'exprime par :

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

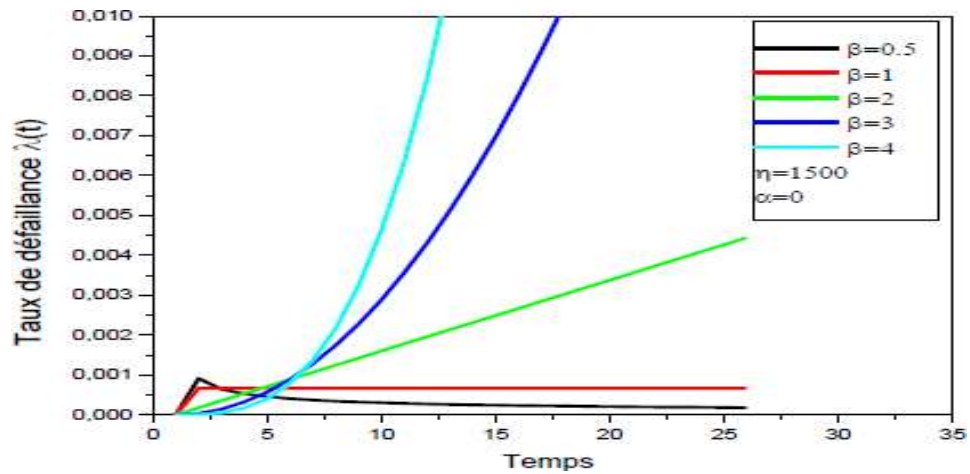


Figure II.12 : Courbe théorique (Taux de défaillance)

b) Densité de probabilité  $f(t)$  :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \tag{II.13}$$

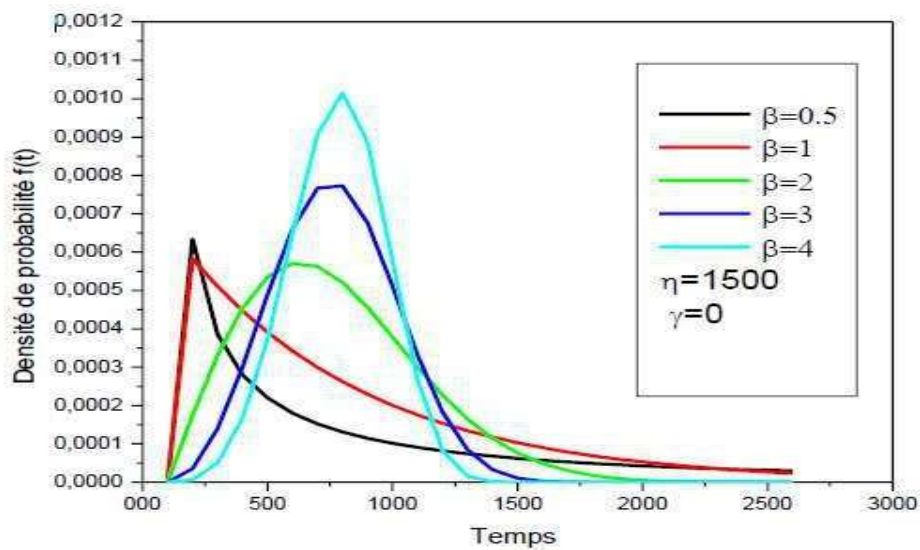


Figure II.13 : Courbe théorique (densité de probabilité  $f(t)$ )

c) **Fonction de répartition  $F(t)$**  : la probabilité que le dispositif soit en panne à l'instant (t) Elle est exprimée par :

d)

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \tag{II.14}$$

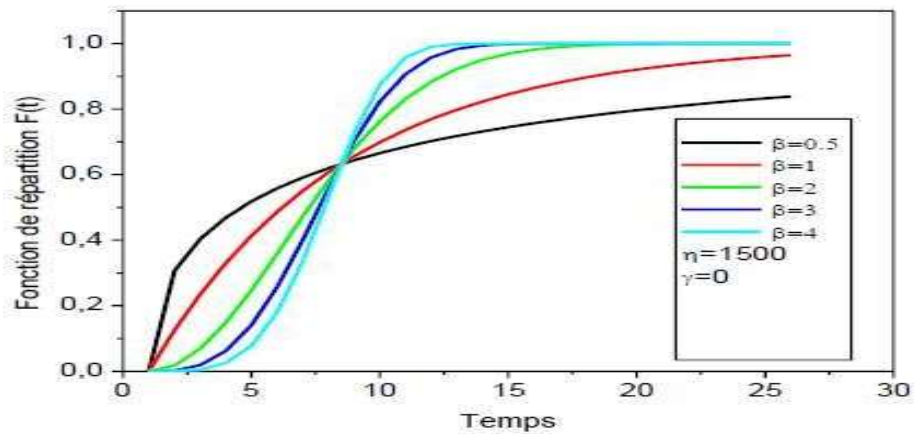


Figure II.14 : Courbe théorique (fonction de répartition).

**e) Fonction de fiabilité R (t)**

La forme générale de la fonction de fiabilité est désignée par **R (t)** représentant la probabilité de bon fonctionnement à l'instant t.

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \tag{II.15}$$

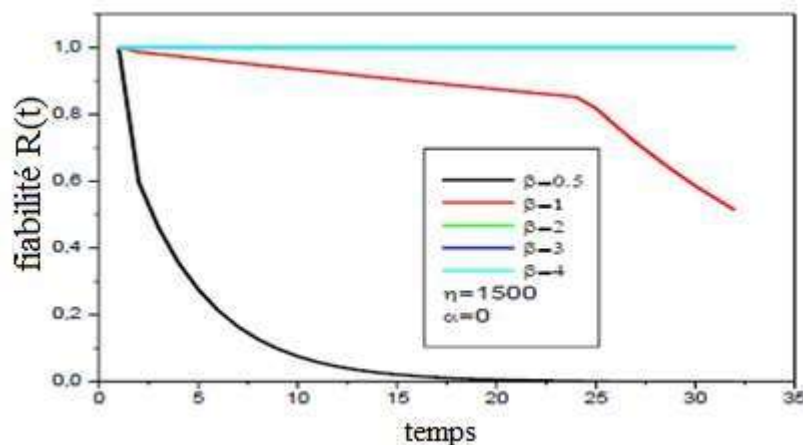


Figure II.14 : Courbe théorique (Fiabilité)

**II.4. La Maintenabilité**

**II.4. 1 Définition**

Dans des conditions données, la maintenabilité est l’aptitude d’un bien à être maintenu ou rétabli dans un état où il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits. (Maintenabilité = être rapidement dépanné). C’est aussi la probabilité de rétablir un système dans des conditions de fonctionnements spécifiées, en des limites de temps désirées, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des

moyens prescrits. [20]

A partir de ces définitions, on distingue :

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

**-La Maintenabilité prévisionnelle** : elle est également « construite », mais à partir de l'objectif de disponibilité

**-La Maintenabilité opérationnelle** : elle sera mesurée à partir des historiques d'interventions.

#### II.4. 2 Approche mathématique de la maintenabilité $M(t)$

La maintenabilité peut se caractériser par sa MTTR (Mean Time To Repair) ou encore Moyenne des Temps Techniques de Réparation. [20]

$$MTTR = \frac{\sum \text{Temps d'intervention pour } n \text{ pannes}}{\text{Nombre de pannes}} \quad (\text{II.16})$$

La formule qui permet de calculer la maintenabilité est :

$$M(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (\text{II.17})$$

### II.5. Disponibilité

#### II.5.1. Définition

La disponibilité est « l'aptitude d'un bien, sous les aspects combinés de sa fiabilité, maintenabilité et de l'organisation de la maintenance, à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions de temps déterminées ». Pour qu'un équipement présente une bonne disponibilité, il doit :

- Avoir le moins possible d'arrêts de production,
- Être rapidement remis en état s'il est défaillant.

La disponibilité relie donc les notions de fiabilité et de maintenabilité. [22]

**II.5.2. Types de disponibilité**

▪ **Disponibilité intrinsèque** : cette disponibilité est évaluée en prenant en compte les moyennes de bon fonctionnement et les moyennes de réparation, ce qui donne

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF + \frac{MTTR}{R}} \tag{II.18}$$

▪ **Disponibilité instantanée** : Pour un système avec l'hypothèse d'un taux de défaillance  $\lambda$  constante et d'un taux de réparation  $\mu$  constant, la disponibilité instantanée est :

$$D(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t} \tag{II.19}$$

**II.5.3 La relation entre MUT, MTBF, et MTTR**

$$MTBF = MUT + MTTR \tag{II.20}$$

En général, on utilise les sigles d'origine américaine MTBF, MTTR et MUT, avec le risque de mal se comprendre évoqué au début du paragraphe ; on peut proposer les expressions françaises suivantes pour utiliser exactement les mêmes notions en levant les ambiguïtés :

- ✓ TTR temps de réparation,
- ✓ TBF temps de bon fonctionnement,
- ✓ UT temps entre défaillances. [22]

**II.5.4 La relation FMD (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité)**

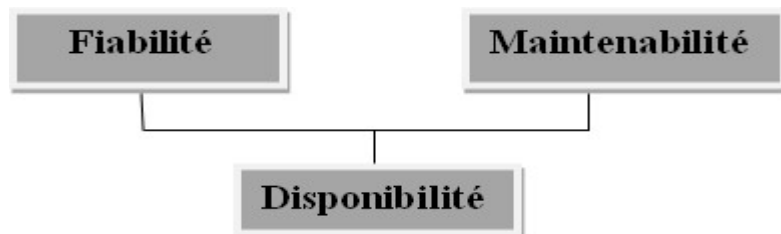


Figure II.15: La relation FMD.

**II.6. Le diagramme A.B.C (PARETO)**

**II.6.1. Définition**

Méthode objective et efficace de choix basés sur la connaissance d'une période antérieure. Les résultats se présentent sous forme d'une courbe dite « Courbe A.B.C. ». [27]

**II.6.2 But**

Le diagramme A.B.C (PARETO) permet de visualiser l'importance relative des différentes parties ou catégories d'un ensemble précédemment analysé et chiffré sous la forme d'un

Classement et d'une hiérarchisation. [28]

### II.6.3 Les Moyens

- ✓ a) l'inventaire.
- ✓ b) le classement.
- ✓ c) la représentation graphique.

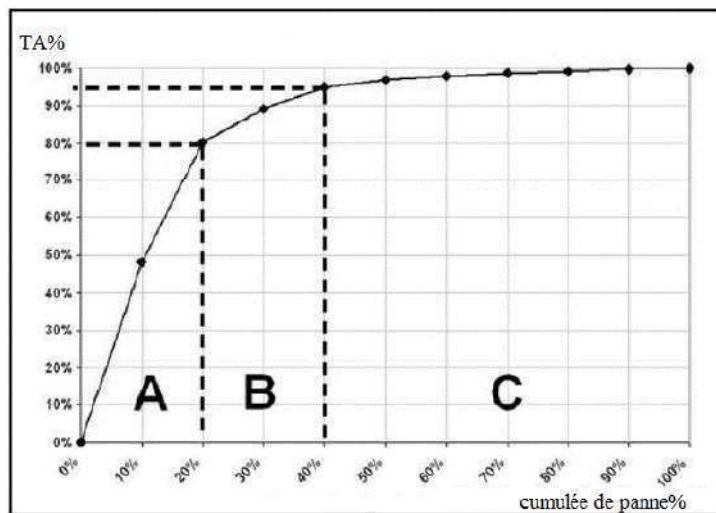


Figure II.16 : « Courbe A.B.C. ».

- ✓ Zone A : Pertes devant engendrer des actions prioritaires.
- ✓ Zone B : Pertes à prendre en compte si solutions peu coûteuses.
- ✓ Zone C : Pertes ne justifiant pas d'action.

### CONCLUSION

Dans ce chapitre j'ai présenté des généralités sur des concepts de base de la maintenance par le calcul de la fiabilité, la maintenabilité, la disponibilité et par l'analyse fonctionnelle pour l'absence de défauts causés par ces turboalternateurs en raison de leur importance dans cette entreprise

# *Chapitre III*



*Présentation de l'entreprise*

---

### III.1.Introduction

L'énergie « électricité/ gazière » est devenue un atout essentiel de la compétitivité économique des nations. En effet, le niveau de sa consommation caractérise pour une bonne partie le niveau de développement des sociétés. Dans ce contexte, sa commodité d'utilisation, autrement dit le maintien d'un équilibre entre l'offre et la demande, s'avère un facteur clé décisif pour tout simplement maintenir en « état de marche » l'économie et la vie sociale.

Afin de mieux commander cette énergie et de réduire les temps de coupure en fournissant une qualité de service sur le plan technique et économique, les réseaux électriques sont gérés par une Société Nationale d'Électricité et du Gaz « SONELGAZ »

Cette énergie mise à la disposition du client Algérien, provient des centrales de production en transitant par les différents réseaux énergétiques.

Dans le cadre de recrutement pour le poste Ingénieur d'Étude, une tournée a été effectuée chez SONELGAZ SDE au sein de la DD de M'sila, ce qui m'a permis de me familiariser avec les différentes divisions et services, et de comprendre le principe de fonctionnement et le rôle de chaque une.

### III.2 Présentation de l'entreprise

**SONELGAZ**, ou Société Nationale de l'Électricité et du GAZ, est une compagnie chargée de la production, du transport et de la distribution de l'électricité et du gaz en Algérie.

Cette compagnie est organisée en groupe industriel de 39 filiales (métiers et périphériques) et 5 sociétés en participations. La SDE l'une de ses filiales métiers, opérateur énergétique spécialisé dans la Distribution de l'énergie Électrique et du Gaz de l'Est, qui s'arrange à son tour sur 19 Directions de Distribution attribuées sur 16 Wilayas au niveau de l'est. La DD met à la disposition du client une agence proposant les différents services habituels.

Les missions principales de la DD de M'sila sont :

- L'exploitation et l'entretien du réseau de distribution de l'électricité et du gaz M'sila.
- La garantie de la qualité et la continuité de service.
- Le développement du réseau d'électricité et du gaz de façon à permettre le raccordement des clients.
- La garantie de la sécurité et l'efficacité de ses réseaux.
- La garantie de l'équilibre entre l'offre et la demande en matière d'énergie.

- Le respect des règlements techniques, d'hygiène, de sécurité et de protection de l'environnement.
- La commercialisation de l'électricité et du gaz.

### III.3 Organisation de la Direction Générale « DG »

Afin de permettre une adaptation efficace de toutes les entités, l'organisation de la société est toujours en modification selon les besoins et les insuffisants qui sont constatées dans différentes activités, ainsi que les difficultés de fonctionnement liées à l'incohérence dans les missions et attribution de certaines structures, ce qui a conduit à une évaluation pratique de l'organigramme actuel et des aménagements structurels.

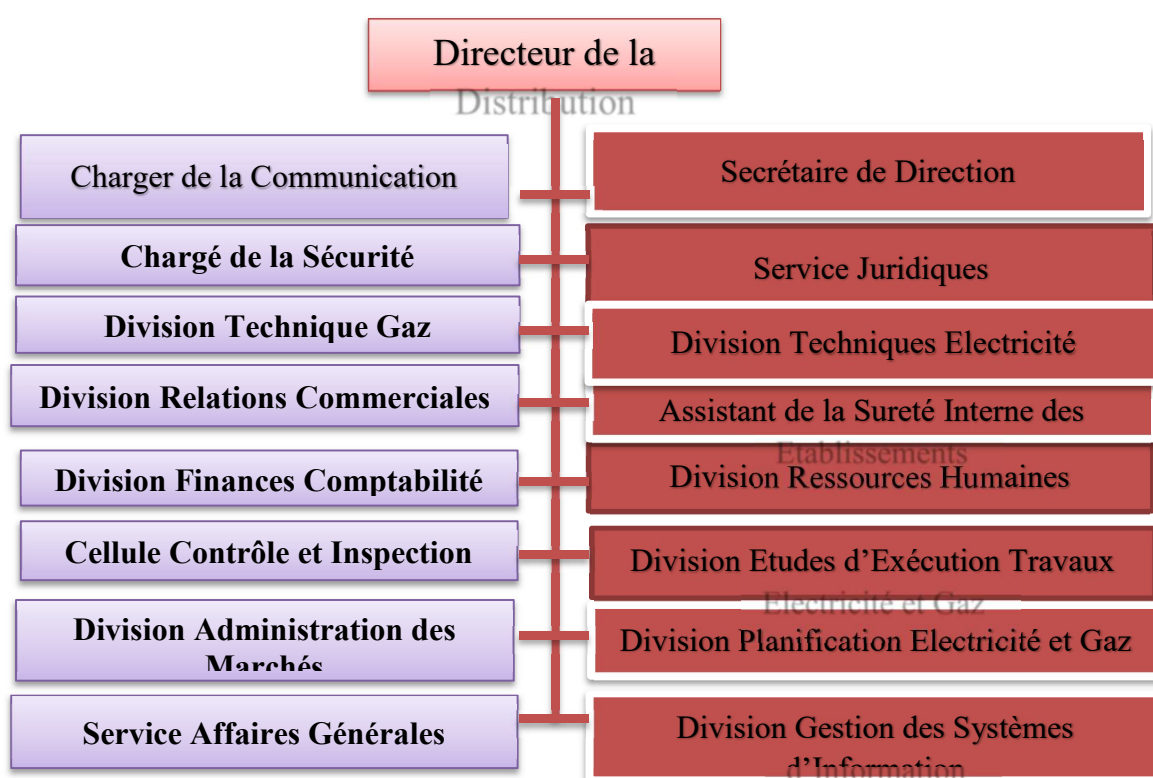


Figure III.1 : L'organigramme de la Direction de Distribution

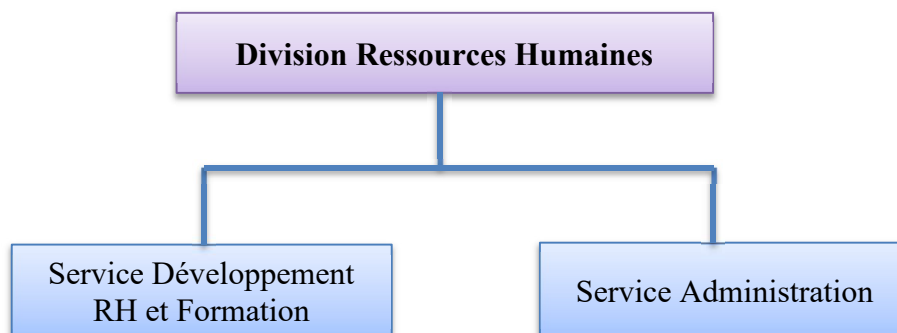
#### III.3 .1 Staff de la Direction Générale

La DD est dirigée par un Directeur de Distribution, qui a un Staff de direction composé de :

- Secrétaire de coordination.
- Chargé de communication.
- Chargé de la sécurité.
- Assistant de la sûreté interne et établissements.
- Attaché juridique.

### III.3 .2 Division Ressources Humains (DRH)

Au niveau de Sonelgaz le DRH a pour mission principale le management et non pas la gestion financière, qui assure, coordonne et contrôle les activités d'administration afin de garantir la réglementation et la gestion du personnel.



**Figure III .2:** L'organigramme du DRH

#### ❖ Service Développement Ressources Humains et Formation

- Assurer la tenue des statistiques du personnel et leur mise à jour et formaliser les tableaux de bord périodiques.
- Fournir aux gestionnaires les analyses et les informations nécessaires à une maîtrise de la GRH et leur traduction en plan de personnel et formation.
- Aider les gestionnaires à définir les besoins de formations.
- Concevoir les programmes de développement de carrière de personnel (élaborer les Profils d'Emploi et de Compétences, les outils d'évaluation du personnel et superviser l'opération d'évaluation...).
- Gérer les organigrammes sur la base des paramètres et ratios de gestion définis et validés par le DG.
- Assurer les études liées à l'ingénierie formation (élaborer et valider les cahiers des charges).
- Consolider les plans de formations et de recrutement.
- Organiser et suivre la réalisation des actions de formations en milieu de travail.

#### ❖ Service Administration

- Assurer la gestion administrative du personnel (tarifs particuliers, gestion des absences, dotation vestimentaires, suivi des recouvrements, liquidation des dossiers, bulletin de paie ...).
- Etablir le budget.

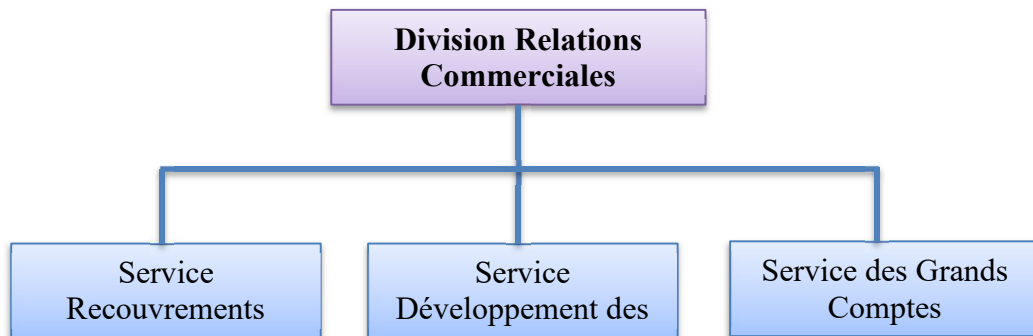
Soumettre à la hiérarchie les distorsions constatées dans l'application de la réglementation.

### III.3. 3 Division Relations Commerciales (DRC)

Avant qu'elle soit une Société Nationale à Action Capital, elle était une Etablissement Public à caractère Industriel et Commerciale « EPIC », où cette société s'intéresse aux relations commerciales qui représentent un ensemble de contacts ou d'échanges entre un client et l'unité commerciale au cours d'une périodes plus ou moins longues, en appuyant sur un échange d'information entre l'entreprise et son client et sur un traitement spécifique selon les normes et les paramètres définies par cette entreprise.

Sa finalité est de maintenir et développer le capital. En effet, ce client ou ce qu'on appelle l'abonné représente une valeur à gérer efficacement pour optimiser une organisation centrée sur lui.

De ce fait, notre première direction c'était le DRC, qui s'organise sous trois services, chacun a ses missions.



**Figure III.3** : L'organigramme de la DRC

#### ❖ Service Recouvrements

Parmi les missions de ce service :

- Centralisation des caisses.
- Chèques impayés.
- Gestion des créances.
- Traitement des factures impayés et PCX.
- Gestion des différents types d'abonnés.

#### ❖ Service Développement des Ventes (SDV)

Ce service est consacré à la gestion des demandes des clients pour le déplacement, la résiliation, le branchement (FSM) et la pose de compteurs, également les nouveaux raccordements d'électricité ou de gaz (RCN, programme d'états, extension), cette demande passe par plusieurs étapes de la réception jusqu'à la mise en service.

#### ❖ Service des Grands Comptes

Le service Grands Comptes travaille avec les abonnés MT/MP et HT/HP pour :

- La gestion principale.

- L'intégration.
- La relève.
- Facturation.
- Comptage (maintenance des compteurs).
- La mise en service, réclamations...

### III.3. 4 Division Etudes et Exécution des Travaux

Division chargée de la maîtrise d'œuvre des programmes de réalisation d'ouvrages ; pour ce faire, il procède à la réalisation et au suivi des études, assure la surveillance de l'exécution des travaux à travers quatre services :

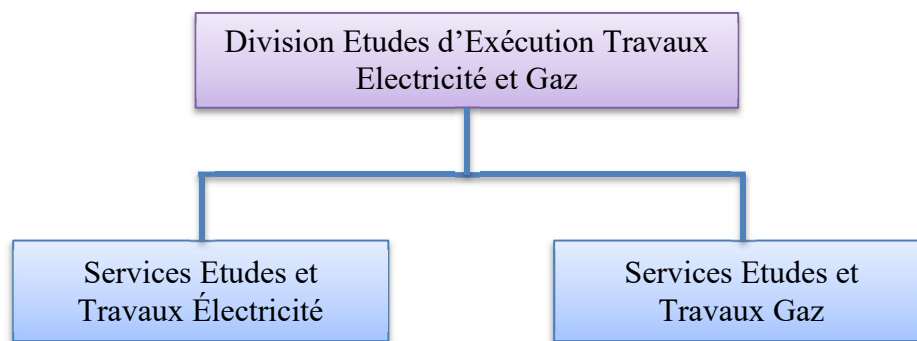


Figure III .4: L'organigramme de la DEET

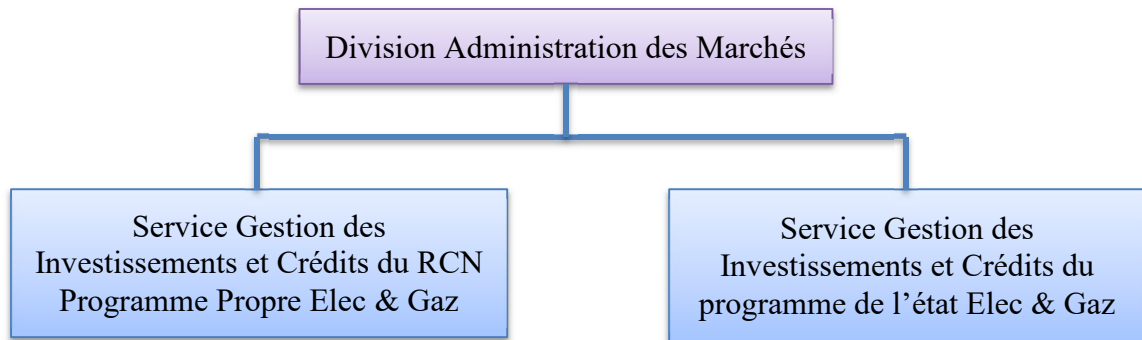
#### ❖ Service Etudes (Électricité/Gaz)

Étudie les différents programmes RCN, après l'enregistrement de la demande envoyée par le DRC, pour que l'agent technique se déplace sur le lieu pour effectuer les études, en prenant en considération la faisabilité de l'ouvrage et la continuité du service, afin d'établir la fiche de détail du matériel nécessaire pour la construction. Il traite aussi les programmes propres et celle de l'état.

#### ❖ Service Travaux (Électricité/Gaz)

Etablir l'exécution des travaux, après avoir l'accord du service contrôle et exploitation sur la faisabilité de raccordement et les contraintes à lever, Ce service effectue la réception des ouvrages tout en assurant la surveillance des travaux.

### III.3 .5 Division Administration des Marchés (DAM)



**Figure III .5:** L'organigramme du DAM.

### Les missions attribuées à cette direction

#### ➤ **Crédits et ordonnancement**

- Suivre l'exécution des crédits.
- Réceptionner e procéder à l'ordonnancement de toutes les factures des entreprises de réalisation.
- Suivre la procédure d'obtention des permis de construire.
- Etablir les éléments statistiques des réalisations.

#### ➤ **Administration des programmes**

- Elaborer les programmes d'investissement à court et moyen termes suivant les orientations du niveau central et en collaboration des structures de la Direction de Distribution.
- Demander l'ouverture des Autorisations de Programme AP et assurer leur suivi.
- Suivre l'exécution des programmes investissement.
- Procéder aux clôtures des AP.
- Contrôler la procédure de la gestion des crédits.
- Suivre les états des dépenses sur crédit de la Direction de Distribution et de ces différentes structures.

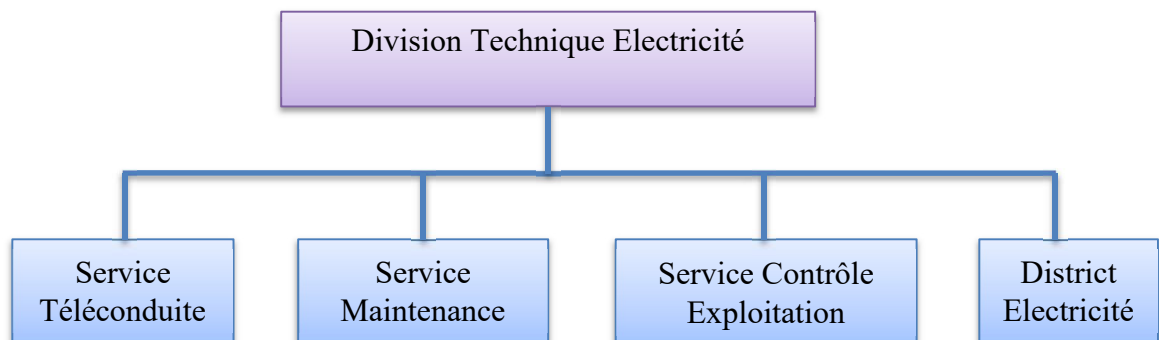
Ainsi parmi ses missions on trouve :

- Préparation et lancement des appels d'offres qui se fait chaque semaine.
- La collecte des données nécessaires à l'exécution de l'étude émanant des travaux.
- Demande des autorisations pour le démarrage des chantiers.
- Etablir les contrats et conventions de réalisation.
- Assister les services Finances et Comptabilité dans leur mission d'inspection.

### **III.3 .6 Division Techniques Électricité (DTE)**

La Direction des Techniques Électricité est l'une des divisions de la Direction de Distribution de M'sila. Elle assure

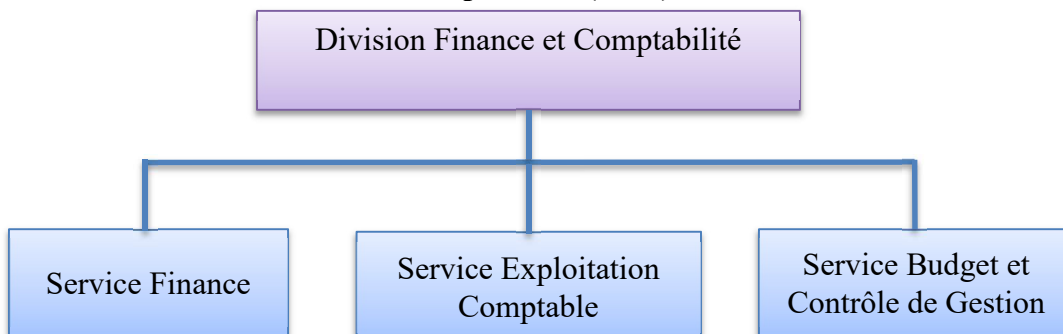
- ✓ L'élaboration des règles et consignes d'exploitation et de maintenance des réseaux.
- ✓ L'exercice des missions de contrôle et d'inspection des activités techniques.
- ✓ La gestion, la conservation et la diffusion des référentiels techniques : guides techniques de la distribution, guide de la cartographie d'électricité, textes réglementaires, les programmes d'entretien, schémas standards, carnet de code des manœuvres, carnet de prescriptions techniques, instructions générales etc.
- ✓ L'élaboration des thèmes de références nécessaires aux études de développement des réseaux.



**Figure III .6:** L'organigramme du DTE.

Le but principal de la division est la gestion du réseau de distribution électrique pour le bon fonctionnement et assurer la qualité et la continuité de l'électricité à travers ces quatre services, sachant que le service de Tél-éconduite est en cours d'exécution c'est-à-dire n'est pas opérationnel pour le moment. Au niveau de la DD de M'sila, y'en a cinq Districts (M'sila, Boussaâda, Sidi Aissa, Ain El-Melh et Berhoum), qui sont chargés de l'exploitation, la protection et du fonctionnement des installations techniques de la direction, ligne électrique MT & BT, poste distribution publique et mixte.

### III.3 .7 Division Finance et Comptabilité (DFC)



**Figure III .7:** L'organigramme du DFC.

#### ❖ Service Finance

---

Il gère le flux financier par :

- La Gestion des comptes (encaissement et décaissement) de la Direction.
- Rapprochement des comptes (encaissement et décaissement).
- Gestion des quotients de garantis ;
- Règlement financier des partenaires de l'entreprise, parmi ces partenaires on trouve : (les fournisseurs, les entreprises de réalisation, les salariés, les organismes sociaux, les impôts, les taxes, la CNAS, ...).

#### ❖ **Service Exploitation Comptable**

Ce service est responsable de la tenue de la comptabilité et l'application du plan comptable. Parmi les tâches attribuées à ce service on trouve :

- Elaboration des bilans et tableaux des comptes du résultat de l'entreprise.
- Enregistrement, préparation et comptabilisation de tous les travaux de fin d'exercices.
- Enregistrement de toutes les opérations comptables quotidiennes.

#### ❖ **Service Budget et Contrôle de Gestion**

- Elaboration des bilans d'activité.
- Elaboration budget annuel de la DD.
- Elaboration des tableaux de bord de la DD.

### **III.3 .8 Division Gestion Systèmes d'Information (DGSi)**

Elle est chargée de Gérer le Centre de Traitement Informatique au niveau de la Direction de Distribution :

- Assurer la Gestion du Centre de Traitement Informatique.
- Gérer l'ensemble du matériel informatique et périphérique.
- Veiller à la maintenance des systèmes.

### **III.3 .9 Service Affaire Générale (SAG)**

#### ❖ **Subdivision Moyens et Approvisionnement**

- Assurer la gestion des moyens, matériel et infrastructure du siège.
- Traitement des DPS.
- Procéder aux achats des fournitures.
- Organiser et gérer les archives du siège DGD.
- Assurer la prise en charge des missionnaires et des invités de la DGD.
- Assurer la gestion du patrimoine mobilier et immobilier.
- Assurer la gestion des carburants.
- Assurer les prestations diverses avec les partenaires.

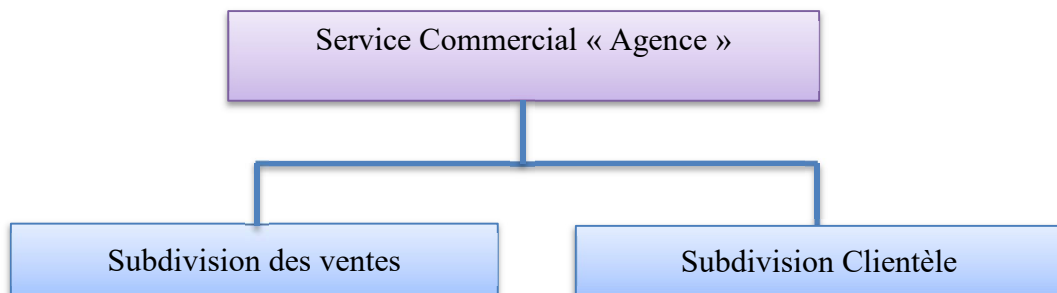
**❖ Parc Auto**

- Etablir les statistiques.
- Assurer les prestations relevant des activités parc automobile.
- Participer à l'élaboration et mettre à jour les parcs types véhicules et engins.

**III.3 .10 Agence Commerciale**

Cette structure a pour mission de gérer les clients BT/BP et d'Assurer la maîtrise d'œuvre pour la réalisation de branchements simples (électricité et gaz). Ses principales attributions sont:

- Gérer le magasin de l'agence (compteurs électricité et gaz).
- Assurer l'accueil de la clientèle (réclamations, contrat d'abonnement, etc.).
- Assurer la caisse.
- Assurer la relève et encaissement.
- Assurer la petite intervention (dépannage, mouvement de compteurs études et réceptions de branchements simple).



**Figure III .8:** Agence Commerciale.

**III.4 La relation entre les divisions**

L'organigramme ci-dessous résume la relation entre les différentes Divisions dans le cas d'une extension de réseau (l'affaire suivie par la DD) :

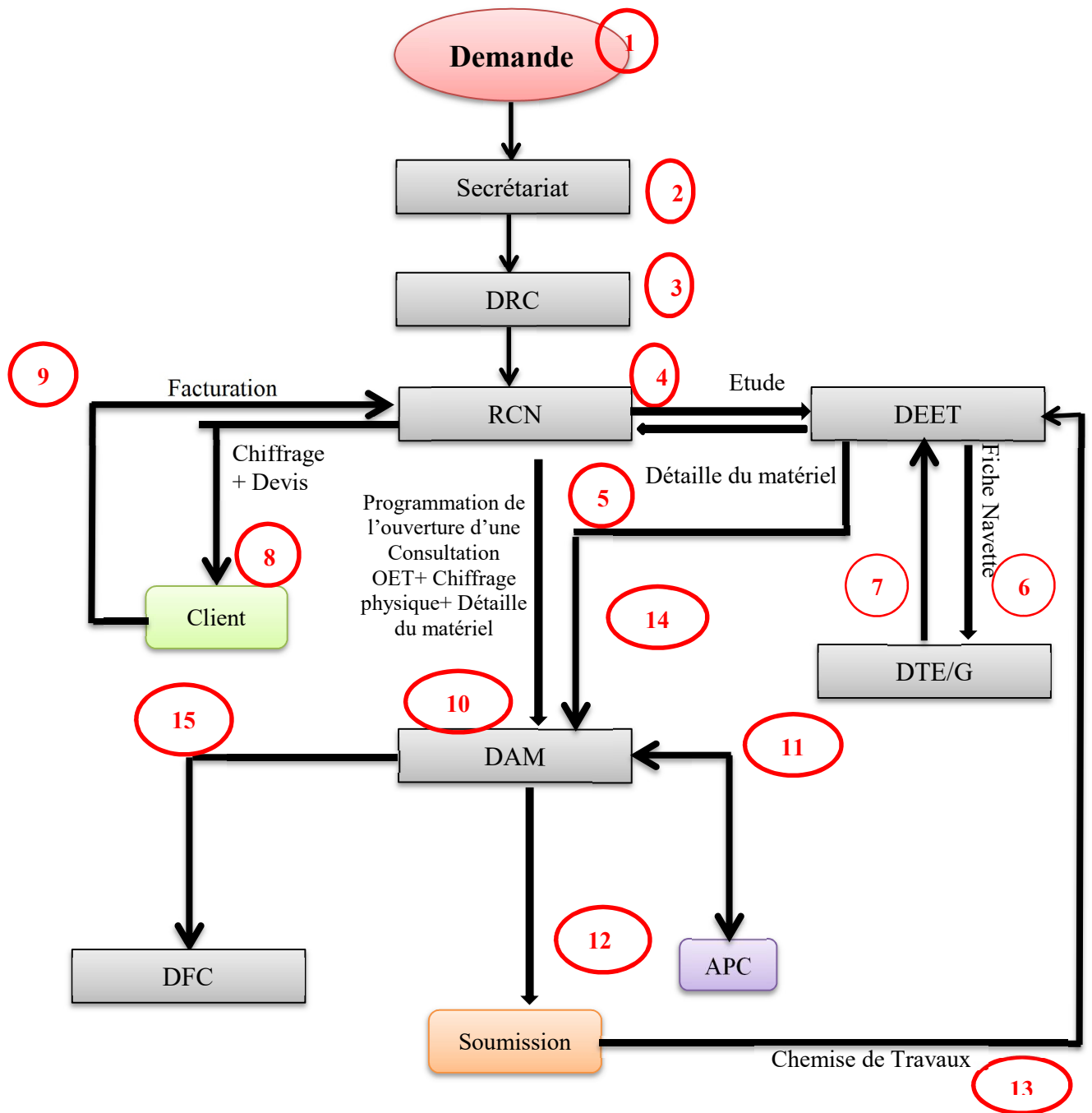


Figure III .9: Suivre d'une Affaire RCN.

### III.5 Conclusion

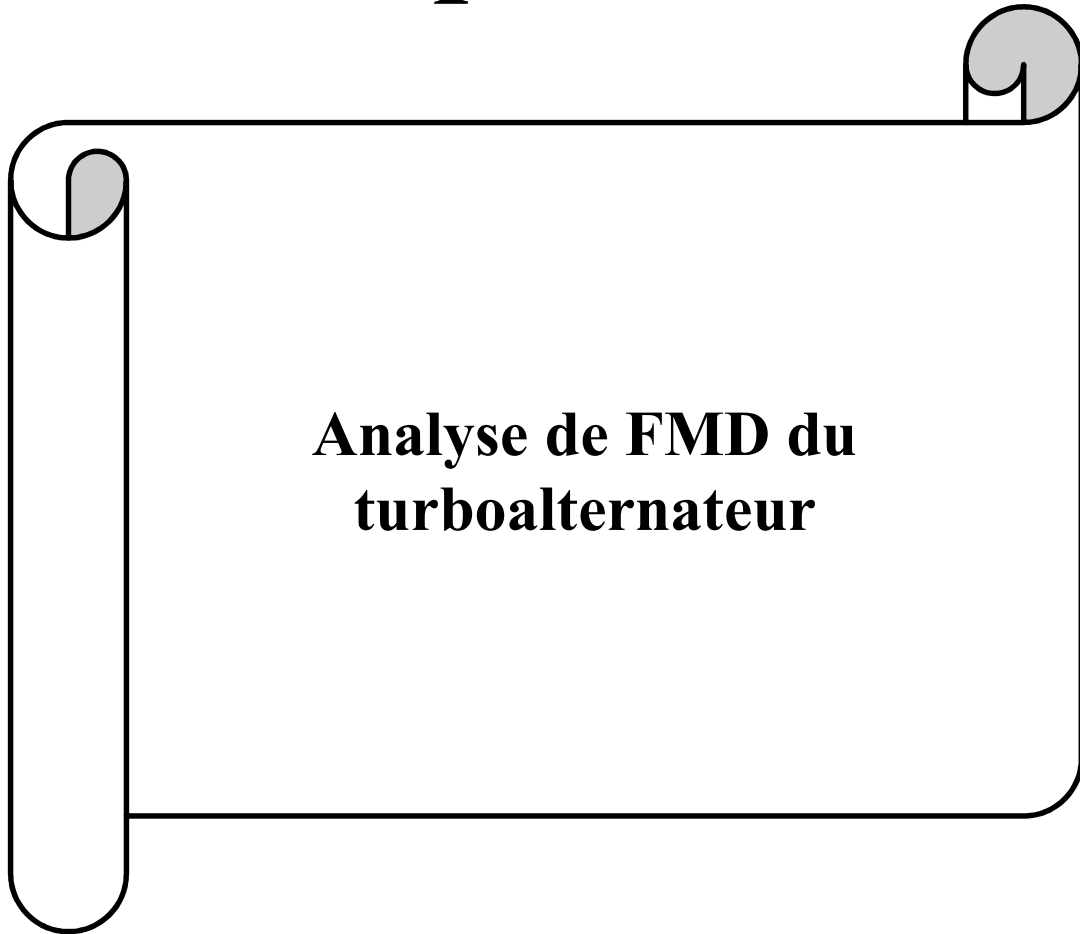
La période de 12 jours de stage au niveau de la Direction de Distribution M'sila de la filiale SDE de l'entreprise Sonelgaz m'a permis d'améliorer mes connaissances pratiques dans le milieu industriel, d'où j'avais l'occasion de me familiariser avec les différentes divisions, et apprendre beaucoup de choses nouvelle concernant le réseau électrique et Gaz.

J'ai eu l'opportunité de participer à des missions diverses qui m'ont permis d'apprendre le métier d'un ingénieur et de m'épanouir aussi bien dans le plan professionnel que personnel.

Sur le plan des rapports humains, je suis satisfaite d'être mis-en contact avec les ouvriers, car il est indispensable de bien les connaitre pour mieux les comprendre par la suite.

Sur le plan des connaissances technique, il m'a permis de confronter un environnement technique plein des équipements et systèmes électriques et électroniques utilisés pour la gestion du réseau électrique

# *Chapitre IV*



## IV. 1 Introduction

Positionner la maintenance au sein de l'appareil de production est un exercice difficile, car il est toujours compliqué de simplifier dans un environnement complexe. C'est l'objectif du dernier chapitre, où nous tentons de répondre à ce défi en exploitant l'historique des pannes du turbo-alternateur M SILA 3 G 2 sur une période de cinq ans et plus.

Nous analysons en détail les données de panne pour identifier les tendances et les causes sous-jacentes des défaillances. En utilisant ces informations, nous réalisons une étude expérimentale des analyses fonctionnelles pour comprendre comment chaque composant du système contribue à l'ensemble de l'appareil de production.

Nous utilisons les indicateurs FMD (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité) pour évaluer la performance du système de maintenance. La fiabilité nous permet de mesurer la probabilité de bon fonctionnement du turbo-alternateur sur une période donnée. La maintenabilité nous aide à déterminer le temps et les efforts nécessaires pour réparer et entretenir le système. Enfin, la disponibilité nous informe sur le pourcentage de temps pendant lequel le turbo-alternateur est opérationnel et capable de remplir sa fonction.

Grâce à cette analyse, nous visons à optimiser les stratégies de maintenance, à améliorer la performance globale du système de production, et à minimiser les temps d'arrêt imprévus, tout en simplifiant autant que possible les procédures dans cet environnement complexe.

## IV. 2 L'application de FMD

### ❖ Exploitation de l'historique

L'historique de panne du turbo-alternateur pendant 4ans est présenté par le tableau IV.1 et le traitement des données brutes de l'historique passe par :

- Le calcul des heures d'arrêt suite à des pannes (TA) qui résultent des différences entre panne et mise en service.
- Le calcul des heures de bon fonctionnement (TBF), qui résultent des différences entre la mise en service et panne.
- TTR Le calcul des heures techniques de réparation

**Tableau IV.1** : Historique de panne de turbo-alternateur de M'sila3 G 2.

N	L'année	TTR	TBF (h)	TA (h)
01	2020	9.35	5943.50	93.45
02	2021	35.22	4175.80	1173.10
03	2022	95.12	5352.74	1995.07
04	2023	37.73	7825.40	113.40
05	2019	272.75	5710	/

#### IV. 2. 1 Etude FMD (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité)

##### IV. 2. 1.1 Calcul des paramètres de la loi de Weibull

On utilisera un logiciel de simulation qui s'appelle FIAB-OPTIM, ce dernier est un logiciel destiné à l'analyse numérique et graphique des données de Fiabilité. Il permet, à partir des données opérationnelles ou expérimentales, d'estimer la loi de distribution des défaillances, d'estimer les paramètres caractéristiques de ces lois et de calculer ensuite la fiabilité prévisionnelle du système étudié pour les dates désirées. L'interface de ce logiciel est illustrée par la (figure IV.1). Le logiciel opère à partir d'un fichier où sont stockées les **données de fiabilité**.



**Figure IV-1** : L'interface de logiciel Fiab-Optim

Le tableau suivant comporte les TBF classés par ordre croissant, et les  $F(t_i)$  calculés par la méthode des rangs médians (parce que dans notre cas le nombre TBF  $N = 5 \leq 20$ ).

$$F(t_i) = \frac{\sum n_i - 0.3}{N + 0.4} \tag{IV. 1}$$

Tableau IV. 2 : Calcul de la fonction de réparation théorique

N	TBF (h)	$\sum n_i$	F(i)	F(i) %
01	4175.80	1	0.1296	12.96
02	5352.74	2	0.3148	31.48
03	5710	3	0.5	50
04	5943.50	4	0.6851	68.51
05	7825.40	5	0.8703	87.03

La figure IV.2 suivante montre le traçage de la fonction de répartition théorique en fonction des temps de bon fonctionnement sur le papier sous-logarithmique de Weibull :

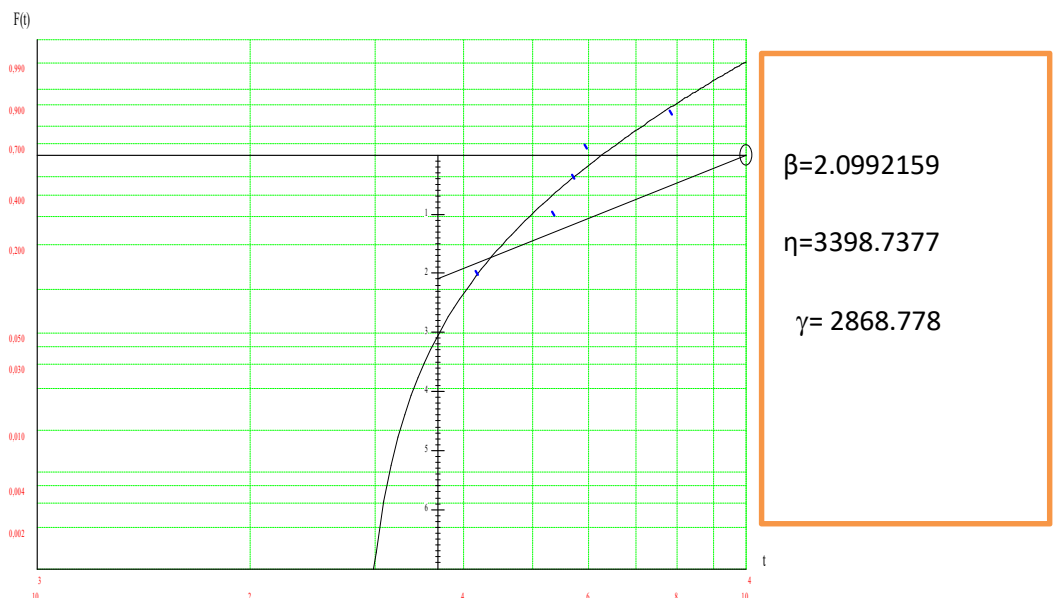


Figure IV. 2 : Fonction de répartition en fonction de TBF sur papier de Weibull.

#### IV. 2. 1.2 Test (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= 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 **D<sub>n,max</sub>**. Cette valeur est comparée avec **D<sub>n,α</sub>** Qui est donnée par la table de Kolmogorov Smirnov (voir sur table Annexe 1). Si **D<sub>n,max</sub>>D<sub>n,α</sub>**. On refuse l'hypothèse.

**Tableau IV. 3** : Test de Kolmogorov-Smirnov.

N	TBF (h)	F(i)	F(t)	D <sub>n,max</sub> =  F(i)-F(t)
01	4175.80	0.1296	0.1258	0.0038
02	5352.74	0.3148	0.4041	0.0893
03	5710	0.5	0.4966	0.0034
04	5943.50	0.6851	0.5552	<b>0.1299</b>
05	7825.40	0.8703	0.8900	0.0197

D'après la table de K-S : DN max < DN α Ce qui veut dire que le modèle de Weibull est accepté. Nous avons pris la valeur maximale.

D<sub>N max</sub> = |F(i) – F(t)| implique que D<sub>N max</sub>=**0.1299**, tandis que D<sub>N,α</sub> = D<sub>5,0.05</sub> = **0.624**

(Voir annexe tab.3) alors : **0.1299 < 0.624** donc l'hypothèse du modèle de Weibull est acceptable.

**IV.2.1.3 Exploitation des paramètres de la loi de Weibull**

**IV.2.1.3.1 La MTBF**

Le tableau de MTBF donne A=0.8857, B=0.443 (voir annexe tab.3).

MTBF=A. η + γ.

MTBF = 0.8857 x 3398.7377+2868.778

MTBF= 5879.0399 h

**IV.2.1.3.2 La densité de probabilité en fonction de MTBF**

Le calcul de la densité de probabilité pour la moyenne du temps de bon fonctionnement (MTBF) comme suit :

$$f(t = MTBF) = f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \tag{IV. 2}$$

$$f(t = 5879.0399) = \frac{2.0992159}{3398.7377} \left(\frac{3010.2619}{3398.7377}\right)^{2.0992159-1} \cdot e^{-\left(\frac{3010.2619}{3398.7377}\right)^{2.0992159}}$$

$$f(t \text{ MTBF}) = 0.024\%$$

#### IV.2.1.3.3 La fonction de répartition en fonction de MTBF

Le calcul de la fonction de répartition pour la moyenne du temps de bon fonctionnement (MTBF) comme suit :

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{IV. 3})$$

$$F = 1 - e^{-\left(\frac{3010.2619}{3398.7377}\right)^{2.0992159}}$$

$$F(t \text{ MTBF}) = 0.5393 \quad F(t \text{ MTBF}) = 53\%$$

#### IV.2.1.3.4 La fiabilité en fonction de MTBF

Le calcul de la fiabilité pour la moyenne du temps de bon fonctionnement (MTBF) comme suit :

$$R(t=\text{MTBF}) = 1 - F(t=\text{MTBF}) = 1 - 0.5393 = 0.4607$$

$$R(\text{MTBF}) = 46 \%$$

On remarque que la fiabilité du turboalternateur est réduite. Pour cela, il doit trouver des solutions pour l'améliorer.

#### IV.2.1.3.5 Le taux de défaillance en fonction de MTBF

Le calcul du taux de défaillance pour la moyenne du temps de bon fonctionnement (MTBF) comme suit :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[ \frac{t-\gamma}{\eta} \right]^{\beta-1} \quad (\text{IV. 4})$$

$$\lambda(t = \text{MTBF}) = \frac{2.0992159}{3398.7377} \left[ \frac{5879.0399 - 2868.778}{3398.7377} \right]^{2.0992159-1}$$

$$\lambda(t = \text{MTBF}) = 0.00054 \frac{\text{panne}}{\text{heures}}$$

#### IV.2.1.4 Étude de modèle de Weibull

##### IV.2.1.4.1 La fonction de la densité de probabilité

On peut calculer la densité de probabilité (la fonction de distribution) par la formule suivante :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{IV. 5})$$

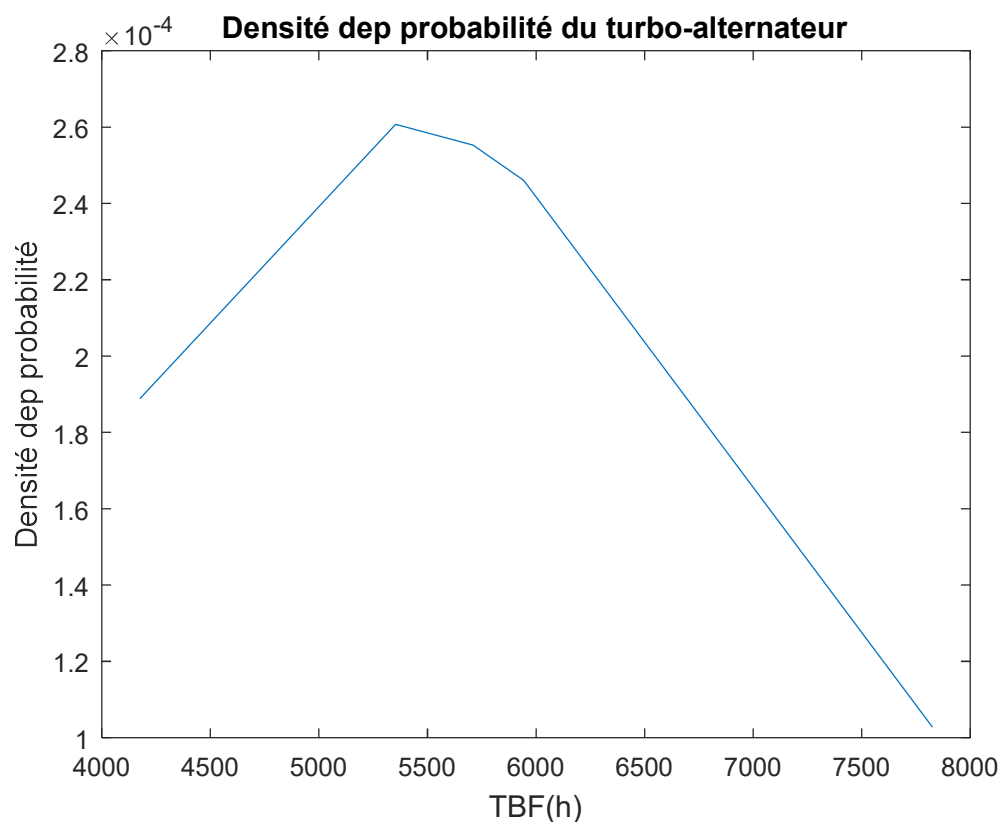
$$f(t) = \lambda(t) \cdot R(t)$$

Le tableau suivant montre le calcul de la densité de probabilité (Tableau IV.4) :

**Tableau IV. 4 :** Calcul de la fonction de la densité de probabilité.

TBF (heures)	4175.80	5352.74	5710	5943.50	7825.40
$f(t) \times 10^{-4}$	1.8884	2.6072	2.5530	2.4603	1.0279

La figure suivante illustre la densité de probabilité en fonction des temps de bon fonctionnement (voir figure IV.3)

**Figure IV. 3 :** La courbe de densité de probabilité.

D'après la figure IV.3, on remarque que la fonction densité de probabilité  $f(t)$  croît avec le temps jusqu'à  $t = 5050$  heures, puis décroît. Cette observation peut être interprétée dans le contexte du comportement statistique des défaillances du turbo-alternateur.

La croissance de  $f(t)$  jusqu'à  $t = 5050$  heures indique une période où la probabilité de défaillance instantanée augmente. Cela signifie que, pendant cette période, le système est de plus en plus susceptible de rencontrer des défaillances. Cette phase de croissance peut être attribuée à l'usure progressive des composants du turbo-alternateur. Au début de la période

de fonctionnement, les composants sont relativement neufs et moins susceptibles de tomber en panne. Cependant, à mesure qu'ils vieillissent, l'accumulation de stress et de fatigue augmente, conduisant à une hausse de la densité de probabilité de défaillance.

Après  $t = 5050$  heures, la fonction  $f(t)$  commence à décroître. Cette décroissance peut être expliquée par plusieurs facteurs. Premièrement, les composants les plus faibles et les plus susceptibles de tomber en panne auront déjà été remplacés ou réparés, laissant derrière eux des composants plus robustes. Deuxièmement, la phase de décroissance pourrait également correspondre à une période de maintenance intensive, où des mesures préventives et correctives ont été mises en œuvre pour améliorer l'état général du système.

#### IV.2.1.4.2 Fonction de répartition $F(t)$

On peut calculer la fonction de répartition par la formule suivante :

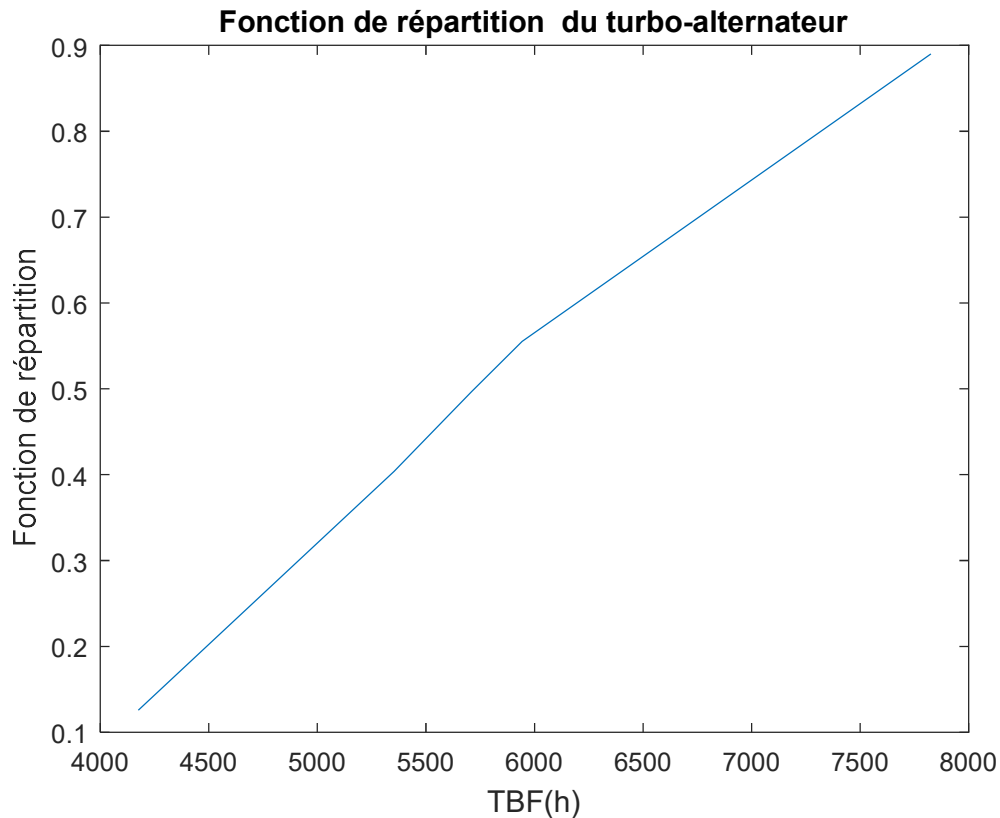
$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{IV. 6})$$

Le tableau suivant présente le calcul de la fonction de répartition (Tableau IV.5) :

**Tableau IV.5** : Fonction de répartition  $F(t)$ .

<b>TBF</b>	4175.80	5352.74	5710	5943.50	7825.40
<b>F(t)</b>	0.1258	0.4041	0.4966	0.5552	0.8900

La figure suivante illustre la densité de probabilité en fonction des temps de bon fonctionnement (voir figure IV.4)



**Figure IV.4 :** Courbe de fonction de répartition

D'après la figure IV.4, on voit que la fonction de défaillance  $F(t)$ , est une fonction croissante en fonction du temps. Cela signifie que la probabilité cumulative de défaillance augmente à mesure que le temps passe. À un moment donné  $t$ , la fonction de défaillance indique la probabilité que le système ait déjà subi une défaillance.

Pour  $t = \text{MTBF}$ , nous avons  $F(\text{MTBF}) = 0.5393$ , ce qui correspond à une probabilité de 53.93%. Cela signifie qu'à l'intervalle de temps correspondant au MTBF, il y a une probabilité de 53.93% que le système ait déjà connu une défaillance.

En d'autres termes, lorsqu'on atteint le MTBF, la majorité des systèmes sont susceptibles d'avoir présenté une défaillance. Cela permet de quantifier la fiabilité du système et d'orienter les stratégies de maintenance préventive et corrective. Une bonne compréhension de cette fonction est essentielle pour planifier efficacement les interventions de maintenance, minimiser les temps d'arrêt non planifiés et optimiser la disponibilité et la performance des équipements.

La courbe de la fonction de défaillance illustre l'importance de surveiller et d'entretenir régulièrement les machines pour anticiper les pannes et prolonger la durée de vie utile des équipements. En utilisant ces informations, les gestionnaires peuvent établir des programmes

de maintenance qui réduisent les risques de défaillance et améliorent la fiabilité globale du système.

**IV.2.1.4.3 Fiabilité**

La relation entre la fiabilité et la fonction de répartition est :  $R(t) = 1-F(t)$ , et on peut aussi calculer cette dernière par :

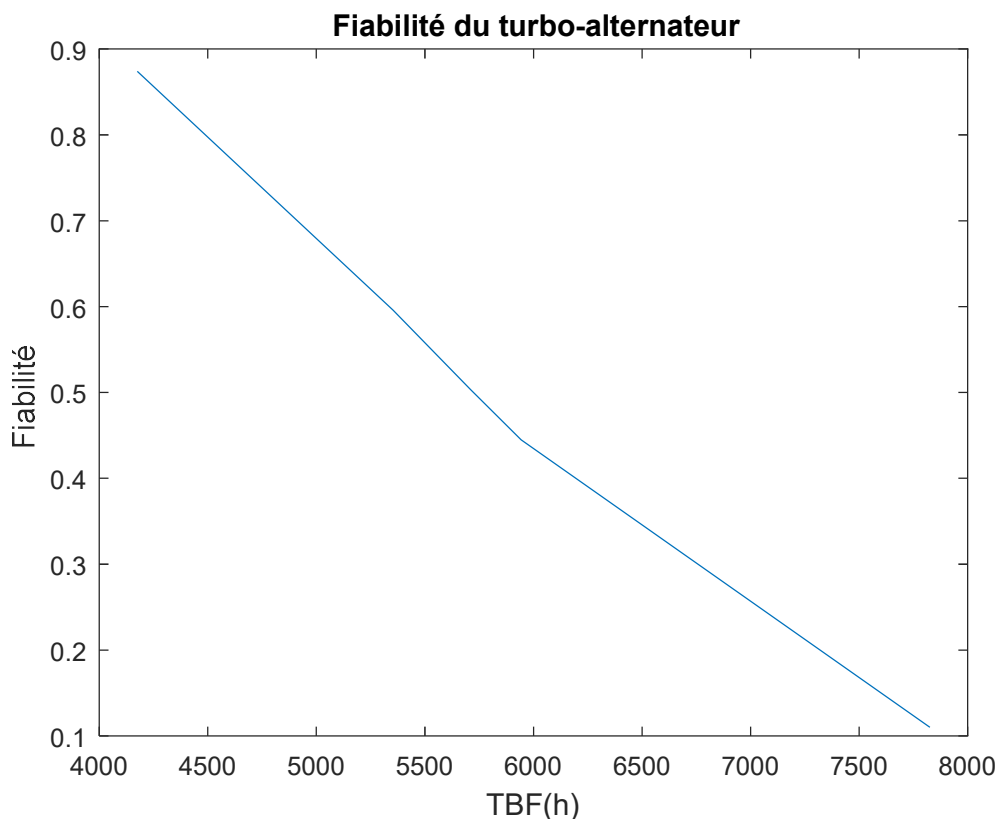
$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \tag{IV. 7}$$

Le calcul de la fiabilité du turbo-alternateur pour les temps de bon fonctionnement (TBF) est présenté par le tableau suivant :

**Tableau IV. 6** Calcul de la fiabilité.

TBF	4175.80	5352.74	5710	5943.50	7825.40
R(t)	0.8741	0.5958	0.5033	0.4447	0.1099

La figure suivante illustre la fiabilité en fonction des temps de bon fonctionnement (voir figure IV.5)



**Figure IV.5 :** La courbe de la fonction de fiabilité.

La figure IV.5 montre que la fiabilité du turbo-alternateur est une fonction décroissante avec le temps. Cela signifie que, au fur et à mesure que le temps passe, la probabilité que le turbo-alternateur fonctionne sans défaillance diminue. D'après la figure IV.5, on observe qu'une courbe de fiabilité qui baisse progressivement. La baisse de fiabilité indique que les risques de défaillance augmentent à mesure que le turbo-alternateur vieillit et continue à fonctionner. Plus précisément, en connaissant la tendance de décroissance de la fiabilité, ils peuvent mieux anticiper les moments où le turbo-alternateur est plus susceptible de rencontrer des problèmes. Cela permet de programmer des inspections, des entretiens préventifs ou des remplacements de pièces avant que des défaillances majeures ne surviennent.

#### IV.2.1.4.4 Taux de défaillance

On peut calculer le taux de défaillance par la formule suivante :

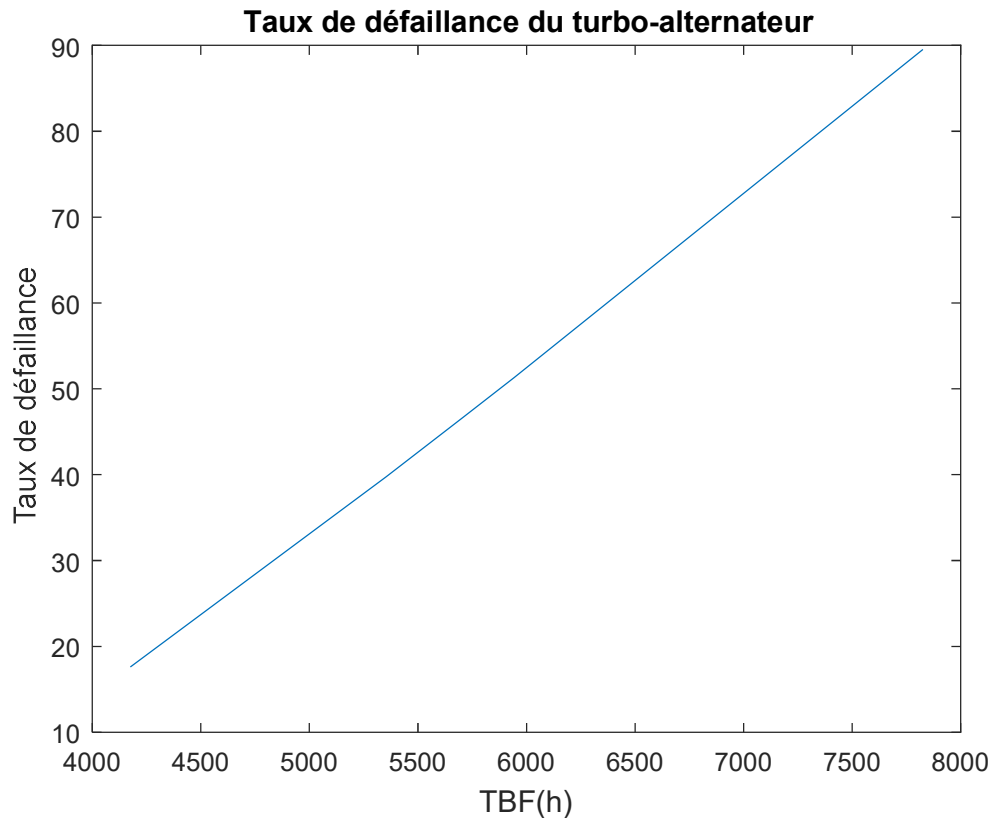
$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[ \frac{t-\gamma}{\eta} \right]^{\beta-1} \quad (\text{IV. 8}).$$

Le calcul du taux de défaillance du turbo-alternateur pour les temps de bon fonctionnement (TBF) est présenté par le tableau suivant :

**Tableau IV. 7** Calcul du taux de défaillance.

TBF	4175.80	5352.74	5710	5943.50	7825.40
$\lambda(t) * 10^{-4}$	2.16036	4.37578	5.0723	5.53236	9.35116

La figure suivante illustre le taux de défaillance en fonction des temps de bon fonctionnement (voir figure IV.6). Cette représentation graphique montre comment la probabilité de défaillance du turbo-alternateur évolue au fur et à mesure que le temps de bon fonctionnement (TBF) s'accumule.



**Figure IV.6 :** Le courbe taux de défaillance.

La figure IV.6 montre que le taux de défaillance augmente progressivement en fonction du temps. Cela indique que le système vieillit, c'est-à-dire que ses composants deviennent de moins en moins fiables à mesure que le temps passe. En d'autres termes, plus le temps de fonctionnement du système s'accumule, plus la probabilité de défaillance augmente.

L'augmentation du taux de défaillance en fonction du temps souligne la nécessité de mettre en place des stratégies de maintenance préventive et prédictive efficaces. En anticipant les défaillances potentielles, les équipes de maintenance peuvent planifier des interventions pour remplacer ou réparer les composants avant qu'ils ne causent des pannes critiques. Cela permet de prolonger la durée de vie du système, d'améliorer sa fiabilité et de réduire les temps d'arrêt imprévus, contribuant ainsi à une meilleure efficacité opérationnelle et à des coûts de maintenance réduits.

#### **IV.2.1.4.5 Calcul de la maintenabilité du turbo-alternateur**

D'après l'historique des pannes du turboalternateur, on peut calculer la moyenne des temps de réparation comme suit :  $MTTR = \sum TTR / N$ .

TTR : temps de réparation. N : nombre de panne

Alors :  $MTTR = 450.17 / 5$  implique que  $MTTR = 90.034$  h

La maintenabilité est calculée par la formule suivante

$$M(t)=1- e^{-\mu t} \tag{IV. 9}$$

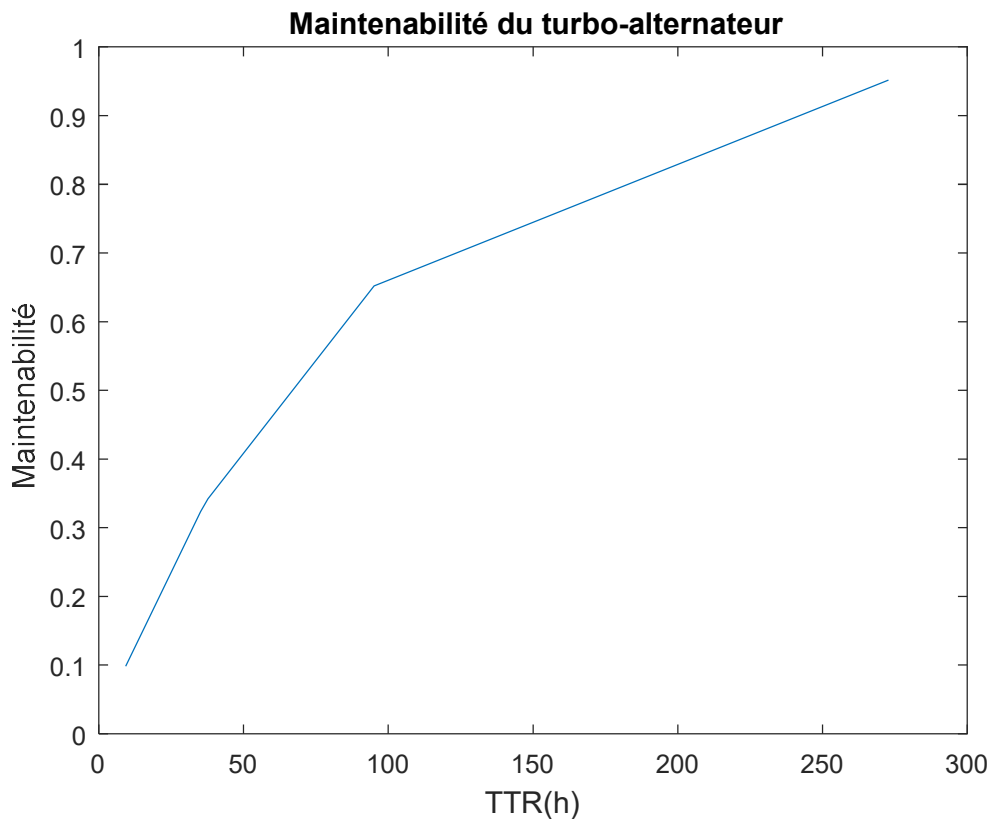
Avec  $\mu = 1/MTTR = 1/ 90.034 = 0.01110$  intervention / heure.

Les résultats du calcul de la maintenabilité pour les temps de réparation sont donnés par le tableau suivant :

**Tableau IV.8** : Calcul de la maintenabilité.

<b>TTR (h)</b>	9.35	35.22	37.73	95.12	272.75
<b>M(t)</b>	0.09858	0.32358	0.34216	0.6520	0.95156

La figure suivante montre la maintenabilité en fonction des temps de réparation (voir figure IV.7)



**Figure IV.7** : La courbe de maintenabilité.

D'après la figure IV.7, on observe que la maintenabilité augmente progressivement en fonction des temps de réparation (TTR). Cette tendance signifie que, à mesure que le temps disponible pour effectuer les réparations s'accroît, la probabilité de restaurer le système à un état opérationnel augmente également. En d'autres termes, plus le personnel de maintenance dispose de temps pour intervenir sur les équipements, plus il est probable que ces derniers soient remis en état de fonctionnement optimal. Cette relation positive entre le TTR et la

maintenabilité souligne l'importance de prévoir des temps de réparation suffisants pour garantir une efficacité maximale des opérations de maintenance, minimisant ainsi les interruptions de service et améliorant la performance globale du système de production.

**IV.2.1.4.6 Calcul de la disponibilité du turboalternateur**

**- Disponibilité intrinsèque au asymptotique**

La disponibilité intrinsèque peut être calculée par la formule suivante :

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{5801.488}{5801.488 + 90.034} = 0.9847 \tag{IV. 10}$$

**- Disponibilité instantanée**

On peut exprimer la disponibilité instantanée par la relation suivante :

$$D(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t} \tag{IV. 11}$$

Le taux de défaillance et le taux de réparation sont calculés comme suit :

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{5801.488} = 0.0001723$$

$$MTTR = \frac{1}{\mu} \Rightarrow \mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{90.034} = 0.011106$$

$$\mu + \lambda = 0.0001723 + 0.011106 = 0.01127$$

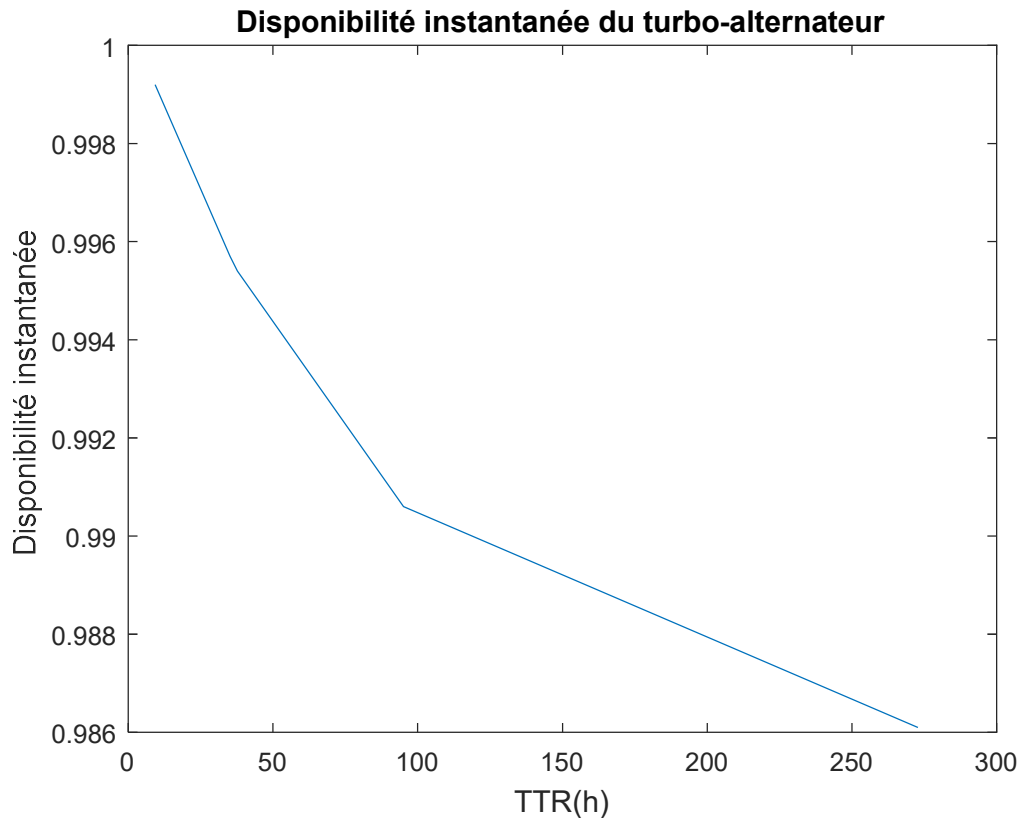
$$D(t) = \frac{0.011106}{0.01127} + \frac{0.0001723}{0.01127} e^{-(0.01127)t}$$

Les résultats du calcul de la disponibilité instantanée en fonction des temps de réparation sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau IV.9 : Calcul de la disponibilité instantanée.**

<b>TTR (h)</b>	9.35	35.22	37.73	95.12	272.75
<b>D(t)</b>	0.9992	0.99572	0.9954	0.9906	0.98615

La figure suivante illustre la disponibilité instantanée en fonction des temps de réparation (voir figure IV.8).



**Figure IV.8 :** Courbe de la disponibilité instantanée.

La figure IV.8 illustre la relation entre le temps de réparation et la disponibilité du système. On observe une tendance où, à mesure que le temps de réparation augmente, la disponibilité du système diminue légèrement. Cette corrélation directe met en évidence l'impact significatif des temps de réparation sur la capacité opérationnelle globale du turbo-alternateur. En d'autres termes, des temps de réparation prolongés se traduisent par des périodes d'indisponibilité accrue de l'équipement, ce qui peut affecter la productivité et l'efficacité des processus industriels. Cette analyse met en évidence l'importance de minimiser les temps de réparation grâce à des stratégies de maintenance efficaces pour garantir un fonctionnement optimal du système.

### IV.3. Calcul du temps de bon fonctionnement pour améliorer la fiabilité à 75%

On peut calculer le temps de bon fonctionnement souhaitable pour améliorer la fiabilité à 75% comme suit :

$$R(t) = 75 \% \longrightarrow t = ?$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \longrightarrow \ln R(t) = - \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta = \ln(0.75) \longleftarrow$$

$$-[\ln R(t)]^{1/\beta} = t/\eta \Rightarrow t = \eta[\ln(1/R(t))]^{1/\beta}$$

$$T_{\text{sys}} = 3398.7377 [\ln(1/0.75)]^{1/2.0992159} = 1877.41 \text{ h}$$

#### IV.4. La courbe ABC

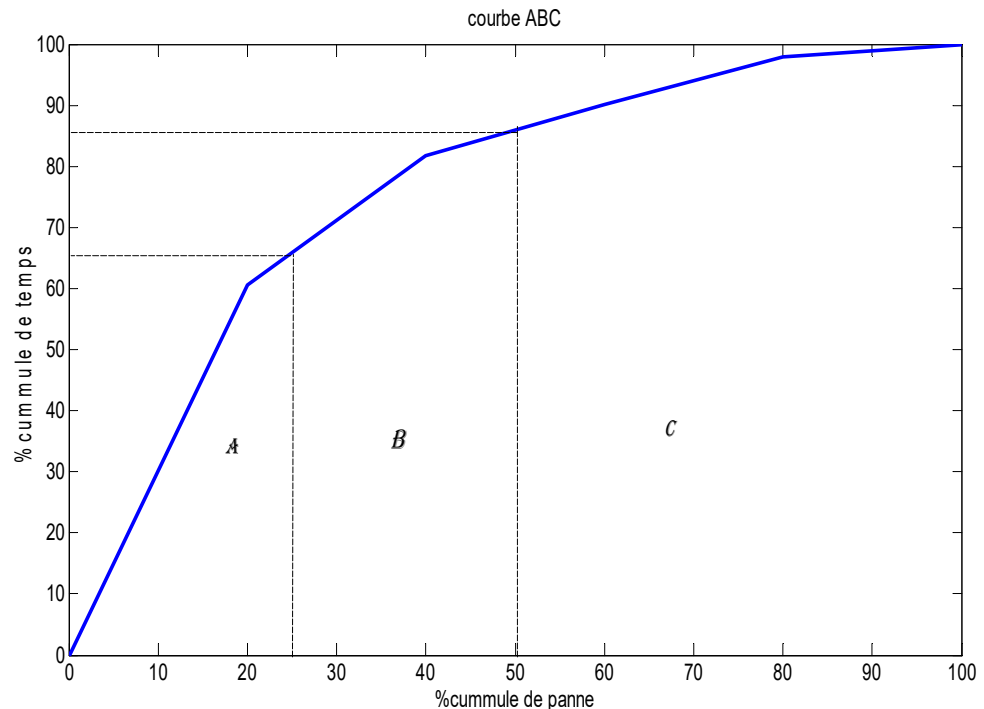
La courbe ABC est une représentation graphique qui classe les éléments en fonction de leur contribution relative au temps d'arrêt total. Les éléments les plus critiques, qui contribuent le plus au temps d'arrêt, sont classés en catégorie A, tandis que ceux qui contribuent le moins sont classés en catégorie C. La catégorie B se situe entre les deux extrêmes.

En utilisant les pourcentages du cumul de temps de panne et du cumul du nombre de pannes fournis dans le tableau IV.8, nous pouvons construire la courbe ABC, qui permet de visualiser la répartition des pannes en fonction de leur impact sur le temps d'arrêt total et le nombre de pannes. Nous pouvons déterminer par l'utilisation de ces pourcentages cumulés, les seuils qui délimitent les différentes catégories. Ensuite, en traçant les pourcentages cumulés du temps de panne et du nombre de pannes sur un graphique, nous pouvons identifier les éléments qui tombent dans chaque catégorie et évaluer leur impact relatif sur la disponibilité et la fiabilité du système.

**Tableau IV 10 :** Les données pour tracer la courbe ABC

N	L'année	CUMUL TTR	TTR %	Nombre de panne	Cumul de nombre de panne	Cumul de panne %
01	2019	272.75	60.58	01	01	20
02	2021	95.12	81.71	01	02	40
03	2022	37.77	90.09	01	03	60
04	2023	35.22	97.92	01	04	80
05	2020	9.35	100	01	05	100

La figure suivante présente la courbe ABC, qui divise les éléments en trois zones distinctes en fonction de leur contribution au temps d'arrêt total et au nombre de pannes. Ces zones fournissent une indication claire de l'importance relative des différents éléments dans le système de maintenance.



**Figure IV.9 :** La courbe ABC.

D'après la figure IV.9, on peut conclure :

**Zone (A):** Cette zone révèle qu'environ 25 % des pannes entraînent 65 % des heures d'arrêt, indiquant une concentration élevée de défaillances sur certains éléments, les rendant les plus défectueux.

**Zone (B):** À l'intérieur de cette zone, 25 % des pannes correspondent à 25 % des heures d'arrêt. Il s'agit d'une zone où les éléments présentent des temps d'arrêt moins importants par rapport à ceux de la zone précédente.

**Zone (C):** Dans cette zone, les 50 % de pannes restantes ne représentent que 10 % des heures d'arrêt, suggérant une répartition plus équilibrée des défaillances avec un impact moindre sur le temps d'arrêt global.

D'après l'application de la courbe ABC, on remarque que les éléments les plus défectueux sont les éléments de la zone A. Une concentration significative de défaillances dans la zone A indique une vulnérabilité accrue de certains éléments du turbo-alternateur que nous avons

étudié. En effet, le fait qu'un quart des pannes entraîne près des deux tiers du temps d'arrêt total souligne l'impact disproportionné de ces défaillances sur la disponibilité globale du système. Cette observation met en évidence la nécessité d'une gestion proactive de la maintenance pour ces éléments critiques. Des stratégies de maintenance préventive ou corrective ciblées peuvent être mises en œuvre pour atténuer les risques de défaillance et minimiser les temps d'arrêt imprévus. Cela peut impliquer des inspections régulières, des remplacements planifiés de pièces ou des améliorations de la conception pour renforcer la fiabilité de ces éléments. En identifiant et en adressant spécifiquement ces points de vulnérabilité, les opérateurs peuvent améliorer la robustesse et la disponibilité globale de leur appareil de production, ce qui se traduit par une meilleure efficacité opérationnelle et une réduction des coûts liés aux temps d'arrêt.

#### **IV.5. Propositions des solutions des éléments les plus défaillants du turbo-alternateur**

Pour remédier aux défaillances observées sur les éléments les plus sujets aux pannes du turbo-alternateur, plusieurs solutions peuvent être envisagées. Tout d'abord, une analyse approfondie des causes sous-jacentes des défaillances dans ces zones critiques est essentielle. Cette analyse peut révéler des faiblesses structurelles, des défauts de conception, des conditions opérationnelles inadéquates ou des pratiques de maintenance insuffisantes qui contribuent aux pannes fréquentes.

Sur la base de ces conclusions, plusieurs actions correctives peuvent être entreprises. Il peut s'agir de procéder à des améliorations de conception pour renforcer la robustesse des composants concernés, d'instaurer des programmes de maintenance préventive plus rigoureux incluant des inspections régulières et des remplacements planifiés de pièces, ou encore de mettre en œuvre des mesures opérationnelles pour réduire les contraintes excessives sur les équipements.

De plus, l'intégration de technologies de surveillance avancées, telles que des capteurs de suivi de l'état de santé des équipements, des systèmes de surveillance en temps réel ou des outils d'analyse de données avancés, peut permettre une détection précoce des anomalies et une anticipation des défaillances imminentes. Cela permettrait aux équipes de maintenance d'intervenir de manière proactive avant que les défaillances ne surviennent, minimisant ainsi les temps d'arrêt non planifiés et préservant la disponibilité opérationnelle du turbo-alternateur.

En adoptant une approche holistique et proactive de la gestion des défaillances, les opérateurs peuvent améliorer la fiabilité, la disponibilité et la durabilité du turbo-alternateur, tout en optimisant les coûts de maintenance et en garantissant des performances

opérationnelles optimales sur le long terme.

Pour le turbo-alternateur, une stratégie de maintenance proactive et ciblée est essentielle pour assurer sa fiabilité, sa disponibilité et sa durabilité à long terme. Voici une proposition de stratégie de maintenance :

- **Maintenance préventive régulière** : Mettre en place un programme de maintenance préventive basé sur les recommandations du fabricant et les meilleures pratiques de l'industrie. Cela comprend des inspections régulières, des opérations de lubrification, des vérifications de l'alignement des composants, et le remplacement planifié des pièces d'usure.
- **Surveillance de l'état en temps réel** : Installer des capteurs de surveillance de l'état pour surveiller en continu les paramètres clés tels que la température, la pression, les vibrations et les niveaux de bruit. Utiliser des systèmes de surveillance en temps réel pour détecter les anomalies et les déviations par rapport aux seuils prédéfinis, ce qui permet d'anticiper les défaillances potentielles.
- **Analyse des données et diagnostic avancé** : Mettre en œuvre des outils d'analyse des données avancés pour traiter les données de surveillance et identifier les tendances, les modèles et les anomalies. Utiliser des techniques d'apprentissage automatique et d'intelligence artificielle pour prédire les défaillances futures et recommander des actions correctives.
- **Maintenance conditionnelle** : Adopter une approche de maintenance conditionnelle où les interventions de maintenance sont déclenchées en fonction de l'état réel de l'équipement plutôt que selon un calendrier préétabli. Cela permet d'optimiser les ressources en concentrant les efforts là où ils sont le plus nécessaires.
- **Formation du personnel** : Assurer une formation adéquate du personnel de maintenance sur les procédures de maintenance préventive, l'utilisation des systèmes de surveillance en temps réel, l'interprétation des données de surveillance et l'exécution des tâches de maintenance corrective.
- **Gestion de la fiabilité et de la performance** : Mettre en place un système de gestion de la fiabilité et de la performance pour suivre et évaluer les performances du turbo-alternateur au fil du temps. Utiliser des indicateurs de performance clés tels que le MTBF, le MTTR et la disponibilité pour mesurer l'efficacité des activités de maintenance et identifier les domaines d'amélioration.

En adoptant cette stratégie de maintenance proactive et en utilisant des technologies de pointe, les exploitants peuvent maximiser la disponibilité opérationnelle du turbo-

---

alternateur, réduire les temps d'arrêt non planifiés et prolonger sa durée de vie utile.

#### IV.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons entrepris une analyse détaillée de l'historique des pannes d'un turbo-alternateur dans le but de calculer ses temps de bon fonctionnement en se basant sur les temps de panne enregistrés. Afin d'évaluer la fiabilité de ce système, nous avons fait usage du logiciel Fiab-Optim pour tracer la fonction de répartition en fonction des temps de bon fonctionnement et pour extraire les paramètres de la loi de Weibull. Ces paramètres nous ont permis d'estimer la fonction de répartition réelle, ce qui nous a ensuite conduit à appliquer le test de validation Kolmogorov-Smirnov. Les résultats de ce test ont indiqué que la loi de Weibull est appropriée pour calculer la fiabilité, la densité de probabilité et le taux de défaillance du système étudié. À la lumière de ces résultats, nous avons noté une diminution de la fiabilité du turbo-alternateur. Pour remédier à cette situation, nous avons procédé à l'identification des éléments les plus sujets aux pannes en utilisant la méthode ABC. Enfin, sur cette base, nous avons proposé des solutions visant à améliorer la fiabilité globale du système.

### Conclusion Générale

Dans un contexte de compétition croissante entre les entreprises industrielles pour satisfaire les attentes de leurs clients en termes de service, de qualité des produits et de performances, la maintenance demeure un pilier essentiel pour atteindre ces objectifs tout en garantissant la continuité et la sécurité des opérations. Les machines tournantes occupent une place centrale dans les systèmes de production et peuvent jouer un rôle stratégique.

Le turboalternateur se présente comme un système électromécanique composé de deux sous-systèmes distincts. Le premier sous-système est la turbine, qui convertit l'énergie thermique fournie par la chambre de combustion en énergie mécanique. Le deuxième sous-système est l'alternateur, qui transforme cette énergie mécanique en énergie électrique. En raison de cette fonction vitale, le turboalternateur est considéré comme un élément crucial dans le domaine de la production d'électricité.

Nous avons examiné en détail l'historique des pannes du turboalternateur de l'unité M'SILA03 G 2 afin d'extraire les périodes de bon fonctionnement à partir des périodes de panne ou de réparation. En utilisant le logiciel Fiab-Optim, nous avons estimé la fonction de répartition réelle et tracé cette dernière en fonction du temps de bon fonctionnement sur un graphique de Weibull. Cette représentation graphique nous a permis d'identifier les paramètres de la loi de Weibull.

Avec ces paramètres en main, nous avons calculé la fonction de répartition théorique, nous permettant ainsi d'effectuer le test de validation Kolmogorov-Smirnov. Ce test a confirmé l'adéquation de la loi de Weibull pour calculer la fiabilité, la densité de probabilité et le taux de défaillance. Les résultats obtenus ont révélé une diminution de la fiabilité et de la maintenabilité du turboalternateur, ce qui nous a amenés à tracer la courbe ABC pour une visualisation plus claire de ces données.

Des propositions de solutions pour les éléments du turbo-alternateur sont avancées afin d'améliorer sa fiabilité et sa durabilité. Ces solutions visent à résoudre les problèmes identifiés lors de l'analyse de l'historique des pannes et à renforcer les composants les plus sujets aux défaillances.

En mettant en œuvre ces solutions et en adoptant une approche proactive de la maintenance, il est possible d'améliorer considérablement la fiabilité et la performance du turbo-alternateur, réduisant ainsi les temps d'arrêt imprévus et augmentant la productivité globale du système de production.

La disponibilité est étroitement liée à la fiabilité et à la maintenabilité, et l'amélioration de

## Conclusion générale

---

ces deux aspects permet d'accroître la disponibilité en réduisant le temps moyen de réparation et en améliorant le temps de fonctionnement correct. En résumé, cette étude met en lumière l'importance de la maintenance proactive et de la gestion efficace des pannes pour garantir la performance et la durabilité des équipements industriels

**Annexe 01 :** Tableau de loi Kolmogorov- Smirnov

TABLE : DETERMINATION LA VALEUR ( $D_n, \alpha$ ) DE TEST (KOLMOGOROV)

n	$\alpha$ 0.01	$\alpha$ 0.05	$\alpha$ 0.1	$\alpha$ 0.15	$\alpha$ 0.2
1	0.995	0.975	0.950	0.925	0.900
2	0.929	0.842	0.776	0.726	0.684
3	0.828	0.708	0.642	0.597	0.565
4	0.733	0.624	0.564	0.525	0.494
5	0.669	0.565	0.510	0.474	0.446
6	0.618	0.521	0.470	0.436	0.410
7	0.577	0.486	0.438	0.405	0.381
8	0.543	0.457	0.411	0.381	0.358
9	0.514	0.432	0.388	0.360	0.339
10	0.490	0.410	0.368	0.342	0.322
11	0.468	0.391	0.352	0.326	0.307
12	0.450	0.375	0.338	0.313	0.295
13	0.433	0.361	0.325	0.302	0.284
14	0.418	0.349	0.314	0.292	0.274
15	0.404	0.338	0.304	0.283	0.266
16	0.392	0.328	0.295	0.274	0.258
17	0.381	0.318	0.286	0.266	0.250
18	0.371	0.309	0.278	0.259	0.244
19	0.363	0.301	0.272	0.252	0.237
20	0.356	0.294	0.264	0.246	0.231
25	0.320	0.270	0.240	0.220	0.210
30	0.290	0.240	0.220	0.200	0.190
35	0.270	0.230	0.210	0.190	0.180
40	0.250	0.210	0.190	0.180	0.170
45	0.240	0.200	0.180	0.170	0.160
50	0.230	0.190	0.170	0.160	0.150
OVER 50	$\frac{1.63}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.14}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.07}{\sqrt{n}}$

Annexe (2)

Ex : pour  $\beta=2.0992159$ ,  
 $\gamma=2868.7377$   
 et  
 $n=230.601$

$\beta$	A	B	$\beta$	A	B	$\beta$	A	B
0,20	120	1901	1,50	0,9027	0,613	4	0,9064	0,254
0,25	24	199	1,55	0,8994	0,593	4,1	0,9077	0,249
0,30	9,2605	50,08	1,60	0,8966	0,574	4,2	0,9089	0,244
0,35	5,0291	19,98	1,65	0,8942	0,556	4,3	0,9102	0,239
0,40	3,3234	10,44	1,70	0,8922	0,540	4,4	0,9114	0,235
0,45	2,4786	6,46	1,75	0,8906	0,525	4,5	0,9126	0,230
0,50	2	4,47	1,80	0,8893	0,511	4,6	0,9137	0,226
0,55	1,7024	3,35	1,85	0,8882	0,498	4,7	0,9149	0,222
0,60	1,5046	2,65	1,90	0,8874	0,486	4,8	0,9160	0,218
0,65	1,3663	2,18	1,95	0,8867	0,474	4,9	0,9171	0,214
0,70	1,2638	1,85	2	0,8862	0,463	5	0,9182	0,210
0,75	1,1906	1,61	2,1	0,8857	0,443	5,1	0,9192	0,207
0,80	1,1330	1,43	2,2	0,8856	0,425	5,2	0,9202	0,203
0,85	1,0880	1,29	2,3	0,8859	0,409	5,3	0,9213	0,200
0,90	1,0522	1,17	2,4	0,8865	0,393	5,4	0,9222	0,197
0,95	1,0234	1,08	2,5	0,8873	0,380	5,5	0,9232	0,194
1	1	1	2,6	0,8882	0,367	5,6	0,9241	0,191
1,05	0,9603	0,934	2,7	0,8893	0,355	5,7	0,9251	0,188
1,10	0,9649	0,878	2,8	0,8905	0,344	5,8	0,9260	0,185
1,15	0,9517	0,830	2,9	0,8917	0,334	5,9	0,9269	0,183
1,20	0,9407	0,787	3	0,8930	0,325	6	0,9277	0,180
1,25	0,9314	0,750	3,1	0,8943	0,316	6,1	0,9286	0,177
1,30	0,9236	0,716	3,2	0,8957	0,307	6,2	0,9294	0,175
1,35	0,9170	0,687	3,3	0,8970	0,299	6,3	0,9302	0,172
1,40	0,9114	0,660	3,4	0,8984	0,292	6,4	0,9310	0,170
1,45	0,9067	0,635	3,5	0,8997	0,285	6,5	0,9318	0,168
			3,6	0,9011	0,278	6,6	0,9325	0,166
			3,7	0,9025	0,272	6,7	0,9333	0,163
			3,8	0,9038	0,266	6,8	0,9340	0,161
			3,9	0,9051	0,260	6,9	0,9347	0,160

## Références

---

### Références

- [1] Manuel d'installations, d'utilisation et de maintenance.
- [2] <http://www.techniques-ingenieur.fr>.
- [3] Lucien Vivier, Edition Albin Michel (1965), (Turbine à Vapeur Et à Gaz).
- [4] Hathat Abdelkader Deblaoui Hicham , Thème (Etude Analytique FMD D'une Turbine à Gaz 990) ,Université Ouargla , 2015.
- [5] Herzallah Athmane « étude thermodynamique, maintenance et fiabilité d'une turbine a gaz MS 5002 » mémoire d'ingénieur, université de Boumerdes, 2007.
- [6] <http://www.wikipedia.org/>.
- [7] Ould Mohamed Brahim et all « étude d'un turboalternateur, modélisation et simulation de l'alternateur » mémoire d'ingénieur, université de M'sila, 2010.
- [8] Tahir Raof, Dehouche Abdelaziz, Thème (Commande En Puissance D'un Centra Hydroélectrique) ,Université Bejaia , 2015 .
- [9] Gilles DUCHEMIN « Maintenance des machines et des moteurs » Technique de l'ingénieur BM 4 188, 10 janvier 2006 .
- [10] Bernard MECHIN « Introduction aux méthodes de maintenance » Technique de l'ingénieur MT 9 280, 10 oct. 2005.
- [11] Yves LAVINA « Amélioration continue en maintenance » Edition Dunod, Paris,2005.
- [12] François Monchy « Maintenance méthodes et organisations » Edition Dunod, Paris ,2000.
- [13] Document « maintenance et vibration » Stell diagnostic ,2002.

## Références

---

- [14] D. Khaled Belmadh, « Technic of maintenance » 2<sup>ème</sup> édition, Université Pierre and Marie Curie- Paris VI, 2006.
- [15] Marie-Line Zani « la surveillance des machines tournantes, mesure 757 » Septembre 2003.
- [16] Jean-Marie Auberville « Maintenance industrielle » édition ELLIPSES, collection Technosup
- [17] Jean Hég, «Pratique de la maintenance préventive » Edition Dunod, Paris, 2002.
- [18] Claire BRENEUR « Éléments de maintenance préventive de machines tournantes dans le cas de défauts combinés d'engrenages et de roulements » thèse de doctorat, école doctorale des sciences pour l'ingénieur de Lyon, 2002.
- [19] Guebbour Amine, Touati Mohamed .Thème (Maintenance De La Turbine à Gaz MS5002C) ,Université Media , 2017-2018.
- [20] Polycopie FMD 2013 (Fiabilité Maintenabilité Disponibilité).
- [21] Lucien Vivier, Edition Albin Michel (1965), (Turbine à Vapeur Et à Gaz).
- [22] Hatham Abdelkader Deblaoui Hicham. Thème (Etude Analytique FMD D'une Turbine à Gaz 990) ,Université Ouargla ,2015.
- [23] Cours Fiabilité De 3<sup>ème</sup> Licence 2018.
- [24] Khabbar Hocine, Hamdaoui Lakhdar .Thème (Etude Analytique De La Maintenance Préventive D'un Compresseur à Vis- ATLAS COPCO GA15) ,Université Ouargla ,2017- 2018.
- [25] Bellouar Ahmed, Beleulmi Salima cour FMD (Fiabilité Maintenabilité Disponibilité) ,Université Constantine ,2013-2014.
- [26] Tahir Raof, Dehouche Abdelaziz .Thème (Commande En Puissance D'un Central Hydroélectrique) ,Université Bejaia ,2015.
- [27] Gestion De Production (La Méthode A.B.C).
- [28] TUV .Rheinland (Outils Qualité Efficaces Pour La Résolution).