

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Laboratoire de Matériaux,
Technologie des Systèmes
Énergétiques et Environnement

Université de Ghardaïa



Faculté des Sciences et Technologies
Département d'automatique et électromécanique



Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Domaine : *Sciences et Technologies*

Filière : *électromécanique*

Spécialité : *maintenance industriel*

Par : . BELKEBIR Mohammed Lamine
. BOUMIDOUNE Abderezak

Thème

**Etude FMD et analyse AMDEC sur la turbine à
gaz MS5002C**

Soutenu publiquement le 25/06/2019

Devant le jury :

- M. LAJAL Boumediene	Grade MAA	Université	Président
- M. MOUATS Sofiane	Grade MAA	Université	Examineur
- M. BOUKHARI Hamed	Grade MAB	Université	Encadreur

Année universitaire 2018/2019

N° d'ordre :
N° de série :

Remerciement

Après avoir rendu grâce à Dieu le Tout Puissant et le Miséricordieux nous tenons à remercier vivement tous ceux qui, de près ou de loin ont participé à la rédaction de ce document. Il s'agit plus particulièrement de :

Notre encadreur **M. Boukhari hamed** on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Nos remerciements sincères vont à **l'organisation ouhrhoud** à tous les employés qui y travaille, surtout l'ingénieur **M. Merghit ahmed**, les techniciens **M. Deblaoui hichem** et **M. Tobal abdelmalek** pour avoir permis d'effectuer notre projet de fin d'étude et d'avoir confié des responsabilités pour cette étude qui a permet de continuer notre mémoire.

Nous tenons à remercier monsieur **Belkbir driss** inspecteur de prévention principale pour sa disponibilité et ses conseils qui Faciles à faire notre stage et faciles à obtenir les informations nécessaire pour la rédaction de mémoire.

Dédicaces

A mes parents .Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour Dont ils ne cessent de me combler. Que dieu leur procure bonne santé et longue vie.

A qui m'a soutenue tout au long de ce projet mon oncle **Driss** et bien sûr A mes frères et mes Sœurs et toute ma famille et mes amis

A mon binôme **abderzak** et toute la famille **Boumidoune** Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce mémoire soit possible, je vous dis merci.

Belkbire mohammed lamine

Dédicaces

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

A mes chères sœurs pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral,

A mes chers frères pour leur appui et leur encouragement,

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible,

Merci d'être toujours là pour moi.

Boumidoune Abderezak

ملخص

أصبحت صيانة النظم الصناعية نقطة ضرورية فورًا في تصميمها وتشغيلها، وذلك لأسباب تتعلق بالربحية والجودة لذلك في هذه الحالة ، تبحث عن نوع الصيانة المناسبة للقسوة الاقتصادية التي تفرض الاستفادة المثلى من الاستغلال وجودة المنتجات على أساس تخفيض نسبة الخدمات وبتقييم الأساليب والأدوات ذات الصلة. في الصيانة ، من بين هذه الأدوات أو الآلات المتعلقة بالصيانة ، هناك التوربينات

والغرض من عملنا هو دراسة صيانة التوربينات ، من خلال دراسة موثوقية وقابلية وتوافر هذه الأخيرة

الكلمات المفتاحية: التوربينات ، الموثوقية ، التوافر ، الصيانة ، المحركات التربينوية

Résumé :

La maintenance des systèmes industriels est devenue un point nécessaire immédiatement de leur conception et de leur exploitation, tant, pour des questions de rentabilité et de qualité.

Alors dans ce cas en cherche le type de maintenance appropriée avec la rigueur économique qui impose l'optimisation de l'exploitation et de la qualité des produits sur la base de la réduction de ratio services et avec l'évaluation très des méthodes et outils liés à la maintenance, parmi ces outils ou machines liés à la maintenance, on trouve les turbomachines.

Le but de notre travail est d'étudier la maintenance de la turbine, par l'étude de fiabilité, maintenabilité et la disponibilité de ce dernier.

Mots : turbine, fiabilité, disponibilité, maintenabilité, turbomachine.

Introduction générale :

Le pétrole est la matière première de la civilisation moderne, c'est la première source d'énergie mondiale grâce à ces propriétés physiques et chimiques principalement la quantité d'énergie par rapport au volume ainsi que le rendement et la rentabilité économiques qu'il offre ,la facilité de sa commercialisation ,sa production et son transport, l'abondance des réserves naturelles et les dérivés qu'on peut extraire, il remplace le charbon utilisé depuis très longtemps qui était moins pratique.

De nos jours, tous ce qu'on voit comme matériel mécanique, fonctionne avec de l'énergie fossile libérée par la réaction de combustion du carburant qui est extraite du pétrole, c'est-à-dire que tout dépend de ce fluide noir, l'exemple le plus général est les moteurs à combustion interne ou externe qui fait marcher des différents installations et systèmes, et parmi ces installations on cite les turbines à gaz.

La turbine à gaz demeure l'un des moyens de production de puissance les plus révolutionnaires, son invention a permis aux ingénieurs d'atteindre des niveaux de puissance jamais égalés par des moteurs thermiques conventionnels. L'utilisation de ce mode de production de puissance est très répandue dans différents domaines d'activité, en passant par la production de l'électricité, la propulsion aéronautique, la pétrochimie jusqu'à l'industrie pétrolière et gazière.

Les entreprises industrielles exigent l'amélioration de la production qualitativement et quantitativement en assurant le bon de fonctionnement des dispositifs de fabrication, C'est pour cela que ça nécessite de faire une évaluation et une modélisation pour mieux comprendre le principe de fonctionnement d'un système, et les fonctions réalisées par chaque élément, afin de faciliter leurs surveillances et de mettre en place des méthodes d'analyse de défaillance adaptées afin d'intervenir en cas de dysfonctionnement.

Notre travail consiste à étudier la fiabilité, la disponibilité et la maintenabilité (FMD) et à mettre en place une méthode d'analyse des modes de défaillances, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC) a une turbine à gaz, qui est un équipement indispensable pour la production au sein de l'organisation Ourhoud dans le but d'établir un moyen de diagnostic et d'apporter des améliorations à son fonctionnement, cela peut se faire en maîtrisant les points faibles et critiques de la turbine sur lesquels il faut agir.

Ce travail se présentera en quatre chapitres :

- Dans le premier chapitre, une description du champ Ourhoud
- Le deuxième chapitre nous abordons des généralités sur la maintenance et FMD
- Dans le troisième chapitre on donne des généralités sur la turbine à gaz
- Le quatrième chapitre est consacré à l'étude de FMD et L'application de la méthode AMDEC

Chapitre I : Présentation l'organisation Ourhoud

I.1 Présentation l'organisation Ourhoud [23]:

Organisation Ourhoud est un champ pétrolier créé en collaboration de partenaires internationaux avec Sonatrach, c'est une entreprise production et traitement de pétrole brut, elle a été créée par **Sonatrach** avec un partenariat de six sociétés.

Sonatrach est associée avec six compagnies étrangères dans la mesure où le gisement chevauche trois blocs 406/405/404 :

En mai 1992, Sonatrach et Cepsa signe l'accord permettant d'explorer le bloc 406 A dans le bassin de Berkine.

En 1995, on découvre le gisement d'Ourhoud qui s'étend sur deux autres blocs. Le bloc 404 où les partenaires de la Sonatrach sont Anadarko, Eni et Maersk et le bloc 405 où les partenaires sont Burlington et Talisman.

En 1997 toutes ces compagnies signent un accord permettant l'exploitation conjointe de cet immense champ pétrolier. Cette exploitation conjointe d'un champ qui regroupe plusieurs blocs est connu sous le nom d'unitisation du champ et son objectif est de permettre un développement optimum du gisement dans son ensemble.



Figure I .1 : partenariat avec Sonatrach[23]

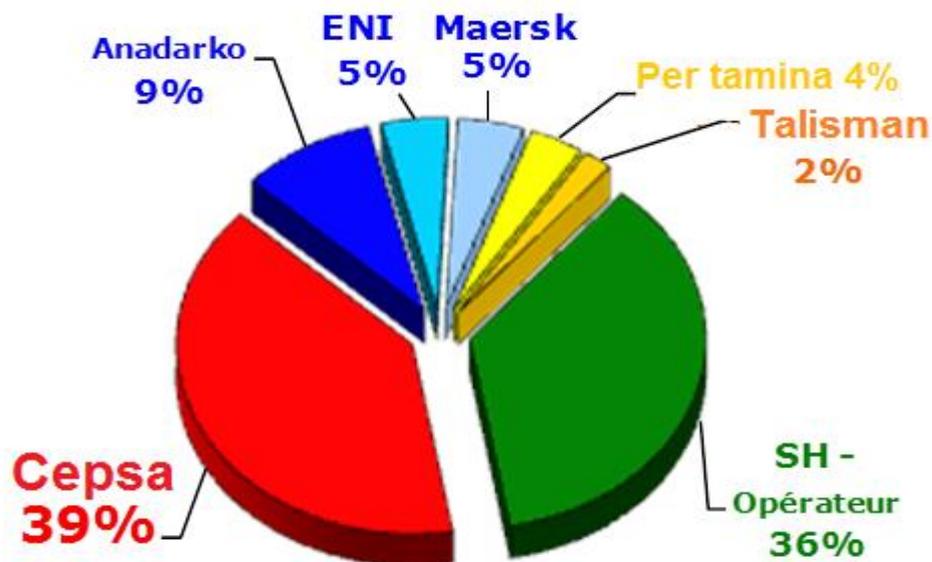


Figure I .2 : Les pourcentages de chaque société[23]

I.2 Présentation du champ Ourhoud :

I.2.1 Generalités sur le champ:

Le champ de pétrole Ourhoud (autre fois appelé Qoubba), est situé au sud du champ d'Anadarko à Hassi Berkine, à 320km au Sud-est de la ville pétrolière de Hassi Messaoud ,400km au sud-est de la wilaya de Ouargla et 1200km au Sud-est d'Alger.

Le champ Ourhoud fut découvert en juillet de l'an 1994, est considéré comme le deuxième plus grand gisement en Algérie avec une surface d'exploitation de 263,4Km².

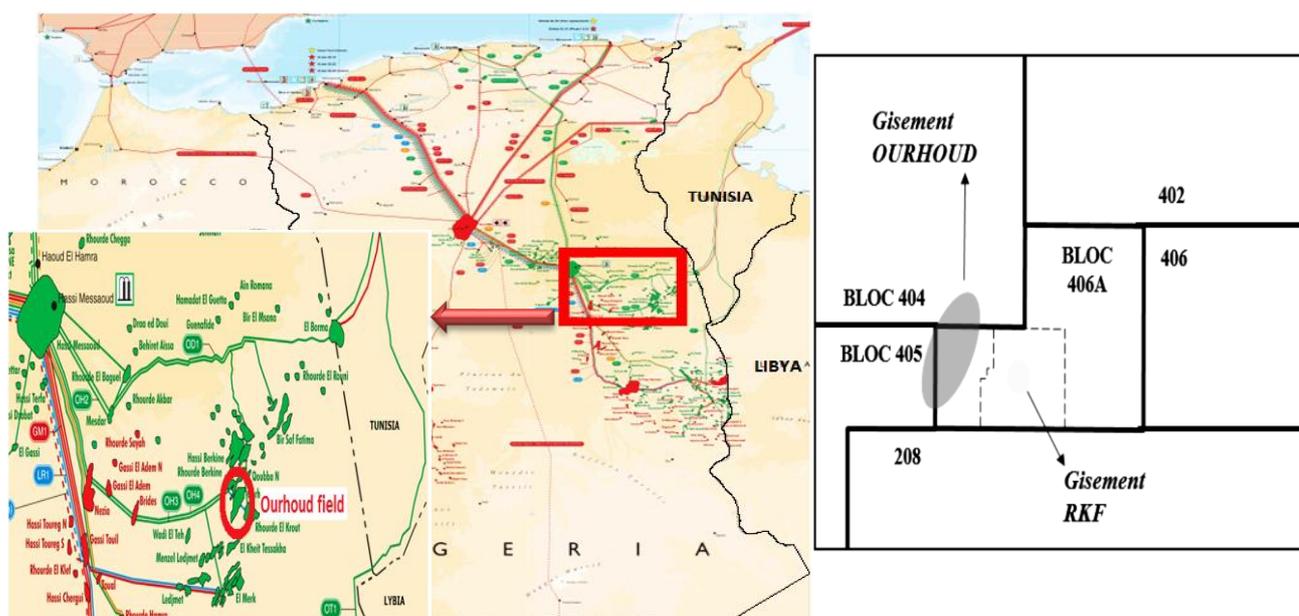


Figure I .3 : position géographique[23]

I. 2.2 Répartition du centre de production et bases de vie :

1. Arrivées des lignes de collecte principales (trunkline) où il y a les gars des racleurs.
2. Slug Catcher.
3. Trains de traitement d'huile.
4. Bac off spec pour le stockage du brut non conforme aux normes.
5. Bacs de stockage du pétrole brut qui est prêt pour l'exportation.
6. Système de traitement de gaz.
7. Système de traitement des eaux pour l'injection.
8. Sale de contrôle.
9. Laboratoire.
10. Bac de stockage pour l'eau d'incendie.
11. Base industrielle.
12. Base de vie OURHOUD.
13. Département hygiène et sécurité environnement (HSE).



Figure I .4 : Répartition du centre de production[23]

I.2.3 Composition du Champ :

- 55 puits de production d'huile.
- 05 puits injecteurs de gaz (03 en WAG)
- 26 puits injecteurs d'eau
- 09 puits producteurs d'eau de l'ALBIEN/BAREMIEM
- 08 puits producteurs d'eau du MIOPLIOCENE
- Un centre de traitement de brut (CPF ou Central Processing Facilities)
- Un réseau de collecte et dessertes.
- Une base industrielle.
- Une base de vie pour le personnel.

I.2.4 Section de traitement de pétrole :

Le pétrole brut provenant des différents puits arrive au CPF à travers 7 satellites. Dans le CPF le pétrole brut passe à travers le slug catcher où s'effectue la 1ère séparation triphasique par différence de densité et pour stabiliser l'écoulement du fluide pour éviter la détérioration des équipements au niveau des trains de séparation.

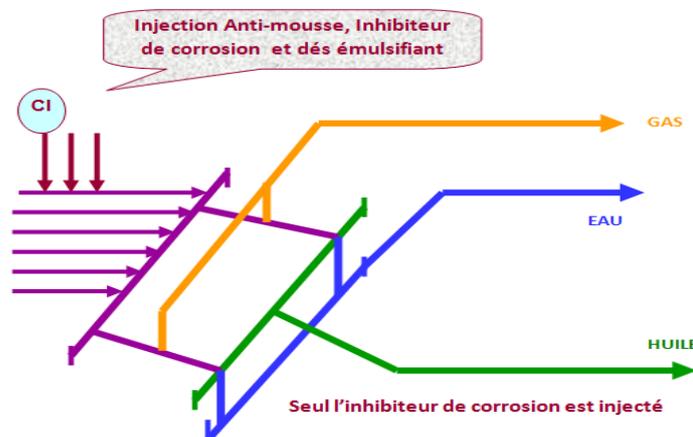


Figure I .5: Arrangement piping du Slug catcher

Après le brut passe par trois trains de traitement principale, dont chaque train assure les opérations principales suivantes

- Une séparation huile / gaz / eau.
- Un dessalage électrostatique.

Chapitre I : Présentation l'organisation Ourhoud

- Une stabilisation de brut par distillation atmosphérique.

Le pétrole brut ainsi traité et ramené aux spécifications commerciales (densité, TVR, salinité) est envoyé vers les bacs de stockage

I .2.5 Système gaz lift :

Le gaz lift est prévu pour chaque tête de puits base pression et comprend un système de distribution individuelle et collective qui suit le système de collecte huile via les satellites correspondants.

I .2.6 Système d'injection d'eau :

L'eau de production traité et l'eau Albian / Barremian sont mélangées en amont des pompes d'injection d'eau. Les pompes délivrent l'eau vers deux collecteurs, un serve les satellites du Nord et l'autre ceux du Sud. Chacun d'eux alimente les lignes d'injection d'eau des puits via un manifold d'injection d'eau sur chaque satellite.

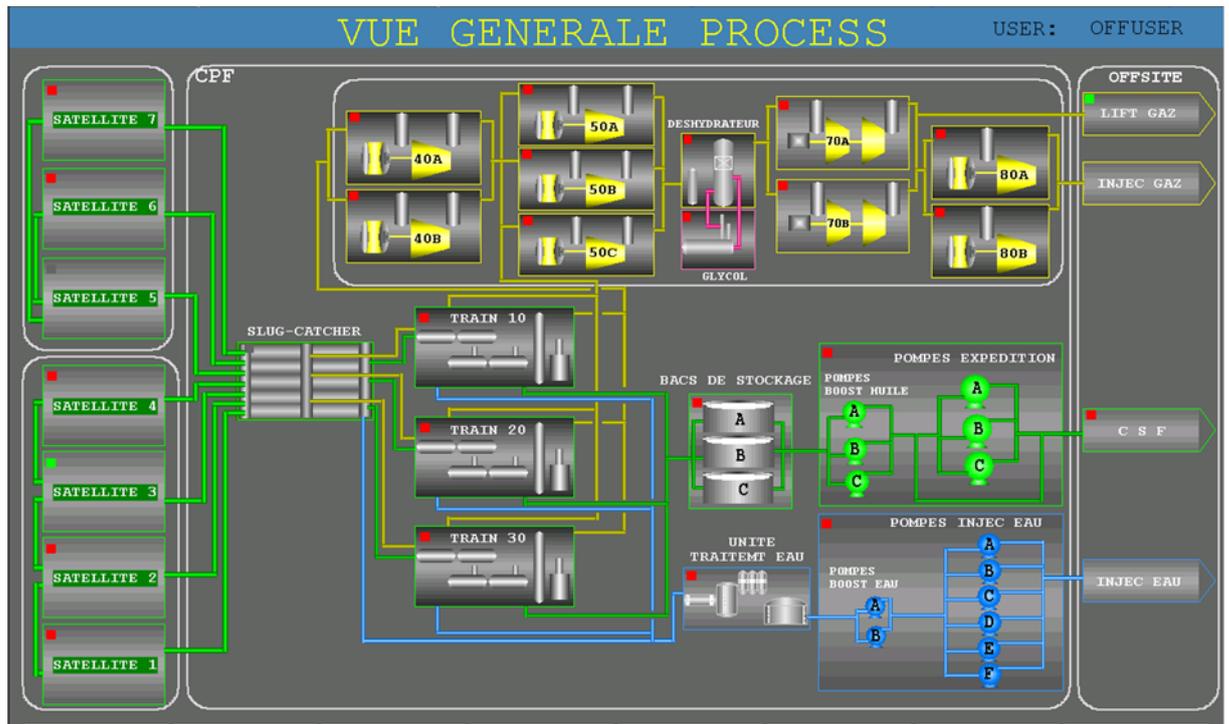


Figure I.6 : Les différents systèmes de traitement dans le CPF[23].

I .2.7.1 Compresseur de tête de colonne: «Overhead»

Comme son nom l'indique; la source de gaz provient des têtes de colonnes des trois trains. Sa pression d'aspiration est celle de la tête de colonne à 6 bars et celle de refoulement est environ 12 bars, elle peut atteindre les 14 bars.

I .2.7.2 Système recompression :

Les vapeurs des deux séparateurs de chaque train sont combinées et mélangées avec les gaz sortant du système Overhead.

Le mélange est dirigé vers les deux compresseurs qui sont entraînés par des moteurs électriques.

Les compresseurs de ce système aspirent à une pression de l'ordre de 12 bars et refoulent des gaz avec une pression de 38 bars environ.

I .2.7.3 Déshydrateur:

Le déshydrateur est un contacteur à tri-éthylène glycol (TEG). Le dispositif est une colonne équipée d'un lit de garnissage, le liquide TEG régénéré est pulvérisé au sommet de ce lit. Le gaz s'élève à travers la section garnie en assurant un très grand contact entre les deux phases (vapeur, liquide).

Le glycol absorbe l'eau dans un écoulement à contre-courant, celui-ci devient riche en eau est soutiré au fond de cette colonne, on accepte à ce bloc une perte de pression de 0.5bar.

I .2.7.4 Système compresseur booster:

Après avoir séché le gaz, on le fait passer par le déshydrateur. Une partie a été prise pour assurer l'alimentation des fours et d'autres équipements comme fuel gaz. Ce système est équipé par deux trains de compression entraînés par des turbines à gaz.

L'aspiration est 37 bars et le refoulement est de l'ordre de 90 bars au niveau du premier étage, le gaz alimente le deuxième étage après refroidissement et sort de ce dernier avec une pression de 190-228 bars.

I.2.7.5 Système injection du gaz :

Le gaz d'injection est comprimé de 228 bars à 378 bars dans un seul étage de compression avec une compresseur centrifuge haute pression du type **BCL304/c**. Ce compresseur est entraîné par un moteur électrique du type CT 710 X 4 (Fournie par ANSALDO).

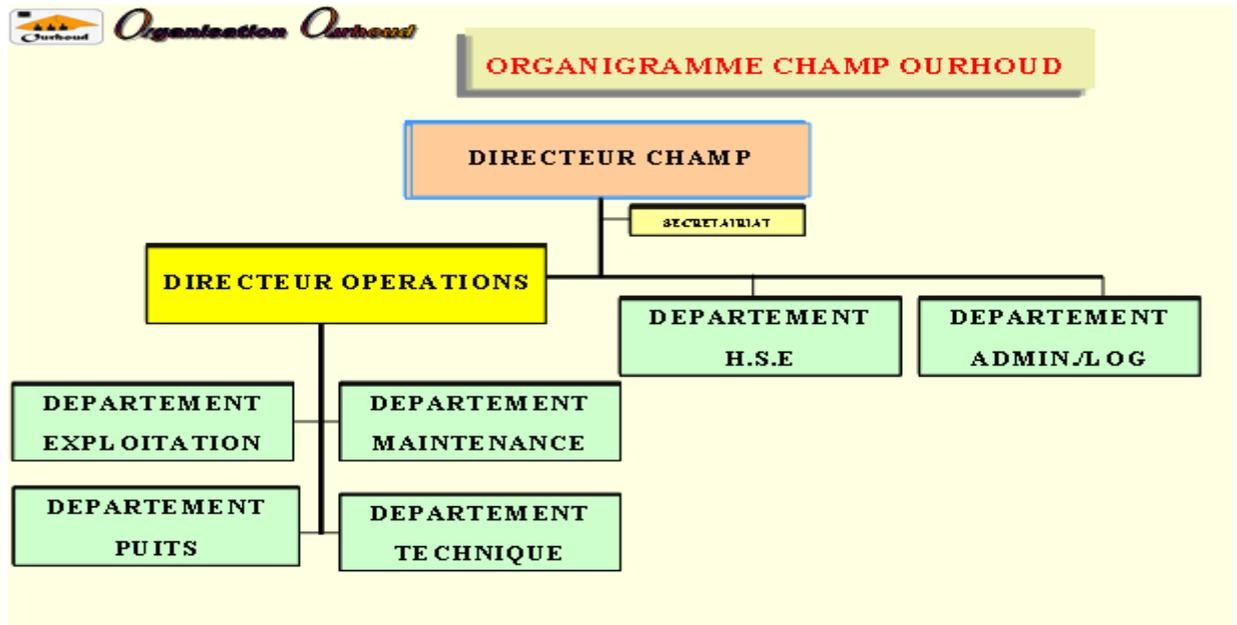


Figure I.7 : L'organigramme général de l'établissement

Présentation du service mécanique du champ Ourhoud:

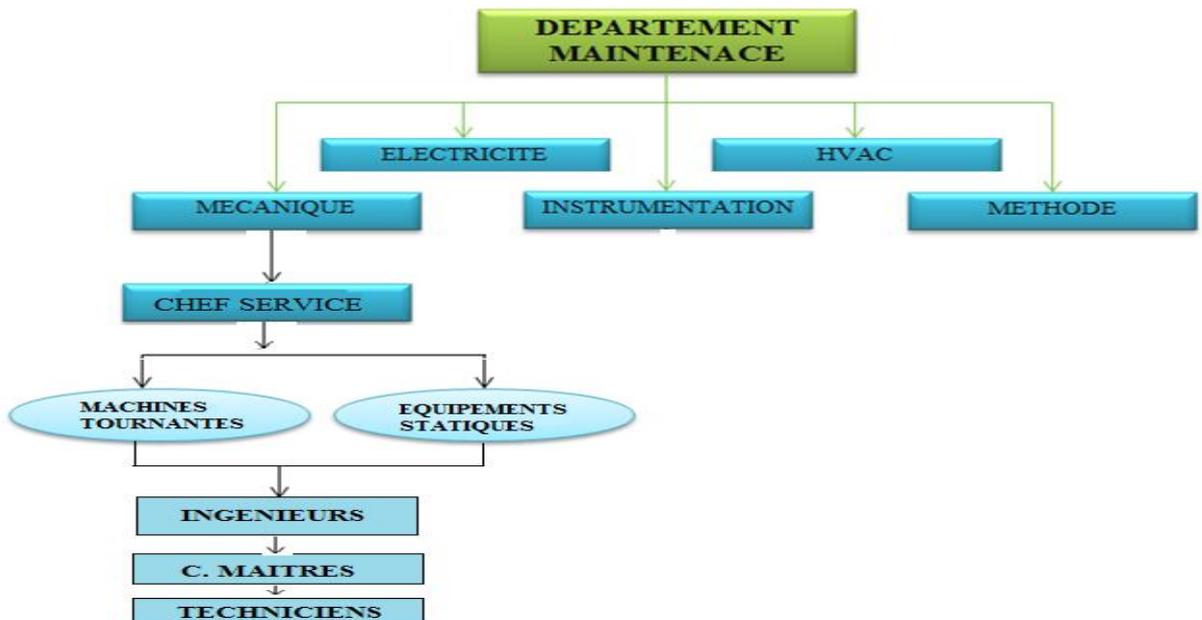


Figure I.8 :Organigramme du service mécanique.

I.2.8 Les types de la maintenance effectués par le service mécanique :

Il existe principalement deux types de maintenance effectués au niveau du service mécanique qui sont : la maintenance curative et la maintenance préventive.

➤ **Maintenance curative:**

La maintenance curative est celle effectuée après défaillance, ou après altération ou cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir la fonction requise. Ces activités peuvent être:

-Des réparations.

-Des modifications ou améliorations ayant pour objet de supprimer la (ou les) défaillance (s).

➤ **Maintenance préventive:**

La maintenance préventive inclue l'ensemble des contrôles, inspections et les interventions de maintenance effectuées préventivement. Il existe deux types de la maintenance préventive effectuée au niveau du service mécanique :

- **La maintenance préventive systématique** : englobe l'ensemble des tâches et opérations calendaires effectués au niveau de l'usine selon un calendrier approprié afin d'augmenter la durée de vie des équipements.

- **La maintenance préventive conditionnelle** : englobe l'ensemble des tâches et opérations effectués au niveau de l'usine selon rapport de fonctionnement anormal de l'équipement (rapport de vibration, de température... etc.).

L'ensemble des activités préventives et curatives de la maintenance effectuées au niveau du champ doivent être saisies et enregistrées dans un logiciel appelé DATASTREAM. Ainsi, l'exécution des différentes opérations de la maintenance doit être accompagné par un permis de travail.

II.1. Introduction :

La technologie industrielle accrue, la complexité et le coût croissant des équipements industriels et par conséquent la nécessité de réduire les temps d'indisponibilité de ces derniers, donne à la maintenance une importance croissante. La maintenance constitue en effet une fonction essentielle des entreprises [5]

Dans ce cadre, la maintenance industrielle, qui a pour vocation d'assurer le bon fonctionnement des outils de production, est une fonction stratégique dans les entreprises industrielles, liée à l'incessant développement technologique, à l'apparition de nouveaux modes de gestion, à la nécessité de réduire les coûts de production, elle est en constante évolution. Elle n'a plus aujourd'hui comme seul objectif de réparer l'outil de travail mais aussi de prévoir et d'éviter les dysfonctionnements au moindre coût. Au fil de ces changements, l'activité des personnels de maintenance a également évolué. Pour combiner les compétences technologiques, organisationnelles et relationnelles ; le champ de la maintenance industrielle regroupe les activités de maintenance qui se déroulent dans un milieu industriel, ce champ, exclus la maintenance des matériels de transport, des bâtiments ainsi que la réparation (service après-vente) des matériels de la grande industrie : mécanique, électronique, informatique...etc. [2]

II.2. Définition de la maintenance :

Une première définition normative de la maintenance est donnée par l'AFNOR en 1994, à savoir « l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé »[15].

Depuis 2001, elle a été remplacée par une nouvelle définition, désormais européenne: « 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. »[16]

Selon la définition de l'AFNOR, la maintenance vise à maintenir ou à rétablir un bien dans un état spécifié afin que celui-ci soit en mesure d'assurer un service déterminé [20].

La maintenance regroupe ainsi les actions de dépannage et de réparation, de réglage, de révision, de contrôle et de vérification des équipements matériels (machines, véhicules, objets manufacturés, etc.) ou même immatériels (logiciels).

Un service de maintenance peut également être amené à participer à des études d'amélioration du processus industriel, et doit, comme d'autres services de l'entreprise, prendre en considération de nombreuses contraintes comme la qualité, la sécurité, l'environnement, le coût, etc.

II.3. Les différentes méthodes de maintenance :

Le choix entre les méthodes de maintenance s'effectue dans le cadre de la politique de la maintenance et doit s'opérer en accord avec la direction de l'entreprise. Pour choisir, il faut être informé des objectifs de la direction, des décisions politiques de maintenance, mais il faut aussi connaître le fonctionnement et les caractéristiques des matériels, le comportement du matériel en exploitation, les conditions d'application de chaque méthode, les coûts de maintenance et les coûts de perte de production.

La définition de « la maintenance » issue de la norme NF X60-010 contient les six concepts servant de base sur lesquelles repose toute la démarche [21].

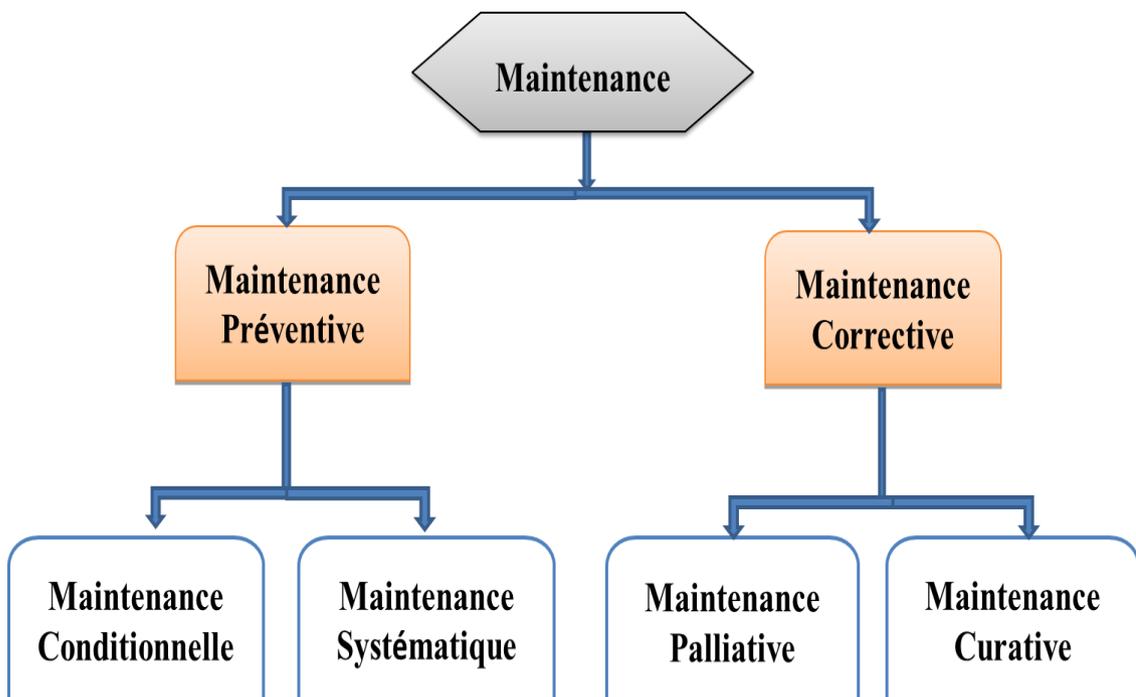


Figure II.1 : les différentes formes de maintenance

II.3.1. La maintenance corrective :

II.3.1.1. Définition :

La définition de la norme européenne est : « Maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise » (extrait norme NF EN 13306 X 60-319).

II.3.1.2 Types d'interventions [1]:

La maintenance corrective comprend deux types d'interventions dépannage et réparation :

A). Le dépannage : appelé aussi maintenance palliative, est une intervention immédiate et rapide visant une remise en état provisoire du matériel. Cette intervention peut être parfaitement justifiée pour des matériels secondaires, sans incidence directe sur la production ; mais elle peut devenir nécessaire par manque de temps dans le cas où on ne peut pas arrêter la production ou par absence de pièces de rechange. Le dépannage est une pratique fréquente en cours de mise au point, dérodage ou au contraire en fin de vie du matériel. Le dépannage est caractérisé par une faible sécurité puisque la défaillance peut survenir à n'importe quel moment ; il est donc nécessaire d'effectuer une réparation le plus tôt possible.

B). La réparation : appelée aussi maintenance curative, est une remise en état définitive du matériel, soit directement après une défaillance soit après un dépannage. La réparation se caractérise par une sécurité élevée puisque le risque de défaillance est fortement diminué par rapport au dépannage, et le matériel retrouve pratiquement ses caractéristiques de fonctionnement.

II.3.2. La maintenance préventive :

II.3.2.1. Définition :

Dans la définition de la maintenance préventive, nous incluons l'ensemble des contrôles, visites et interventions de maintenance effectuées préventivement. La maintenance préventive s'oppose en cela à la maintenance corrective déclenchée à partir des perturbations ou par les événements, et donc subie par la maintenance. La maintenance préventive comprend :

- Contrôles ou visites systématiques,

- Expertises, actions et remplacements effectués à la suite de contrôles ou de visites,
- Remplacements systématiques,
- Maintenance conditionnelle, ou contrôles non destructifs.

A partir de la définition générale de la maintenance préventive [6], on distingue trois variantes qui peuvent être utilisées conjointement en complément l'une de l'autre:

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

La maintenance préventive ne doit pas consister à dire à un agent de maintenance : « Si l'état de tel organe est bon » au moyen d'une liste de des points à examiner. Dans ce cas, si l'état est bon, on ne dit rien ; s'il n'est pas bon, il faut intervenir de suite, ce qui nécessite forcément une disponibilité en pièces de rechange, il s'agit d'une détection d'anomalie et non de maintenance préventive. Au contraire, la maintenance préventive doit consister à suivre l'évolution de l'état d'un organe, de manière à prévoir une intervention dans un délai raisonnable et l'achat de la pièce de remplacement nécessaire. [2]

II.3.2.2 La maintenance systématique :

Lorsque la maintenance préventive est réalisée à des intervalles prédéterminés, on parle de maintenance systématique, l'opération de maintenance est effectuée conformément à un échéancier, un calendrier déterminé a priori. Aucune intervention ne peut avoir lieu avant l'échéance prédéterminée [7]. L'optimisation d'une maintenance préventive systématique consiste à déterminer au mieux la périodicité des opérations de maintenance sur la base du temps, du nombre de cycles de fonctionnement, du nombre de pièces produites... etc. [2]

La maintenance systématique s'applique surtout pour :

- Des composants et sous-ensembles du matériel dont les durées de vie sont bien connues ;
- Des équipements soumis à une législation impérative (chaudières, appareils sous pression, Ascenseurs, etc.) ;

- Des équipements à coûts de défaillance élevés (par exemple des équipements faisant partie d'une chaîne de production) ;
- des équipements dont une défaillance met en cause la sécurité du personnel ou des usagers.

Les avantages de la maintenance systématique sont :

- Les interventions et les arrêts sont programmés en accord avec la production ;
- le coût de chaque intervention est connu, donc la gestion financière du service maintenance est facilitée. Le coût des interventions peut fortement augmenter car leur périodicité est calée sur la durée de vie minimum des équipements.
- Le démontage d'un matériel pour un remplacement systématique d'une pièce nécessite souvent le changement d'autres pièces par précaution, ce qui augmente encore le coût de l'intervention. De même, la fiabilité des machines après remontage se trouve parfois réduite du fait d'erreurs humaines.

En conclusion, le remplacement systématique du matériel doit disparaître progressivement, sauf pour du petit matériel peu coûteux (graissage, filtres, petites pièces, etc.), et céder la place à des méthodes de maintenance conditionnelle. [1]

II.3.2.3. La maintenance conditionnelle :

La norme AFNOR X 60-010 définit la maintenance conditionnelle ainsi : « les activités de maintenance conditionnelle sont déclenchées suivant des critères prédéterminés significatifs de l'état de dégradation du bien ou du service », Donc il n'y a plus d'échéancier mais plutôt un événement, une condition, le franchissement d'un seuil, qui provoque l'intervention. Le signal peut être donné par un capteur décelant une dérive de comportement (élévation de température, modification du niveau vibratoire, fuite, usure, etc...) comme il est montré sur la (figure 2) à tout type de système pour lequel un capteur arrive à détecter une anomalie et c'est d'ailleurs grâce au développement de la technologie de ces capteurs que cette forme de maintenance a pu faire de tels progrès ces vingt dernières années [8].

Comme elle peut être appliquée suite d'une inspection ou d'un contrôle. Ainsi, le système n'est arrêté que lorsqu'il existe une certaine probabilité de défaillance, définie par l'analyse de niveaux d'indicateurs issus de mesures et établis en permanence au cours du fonctionnement. Cette méthode présente donc l'avantage d'éviter la surprise du dysfonctionnements. [2]

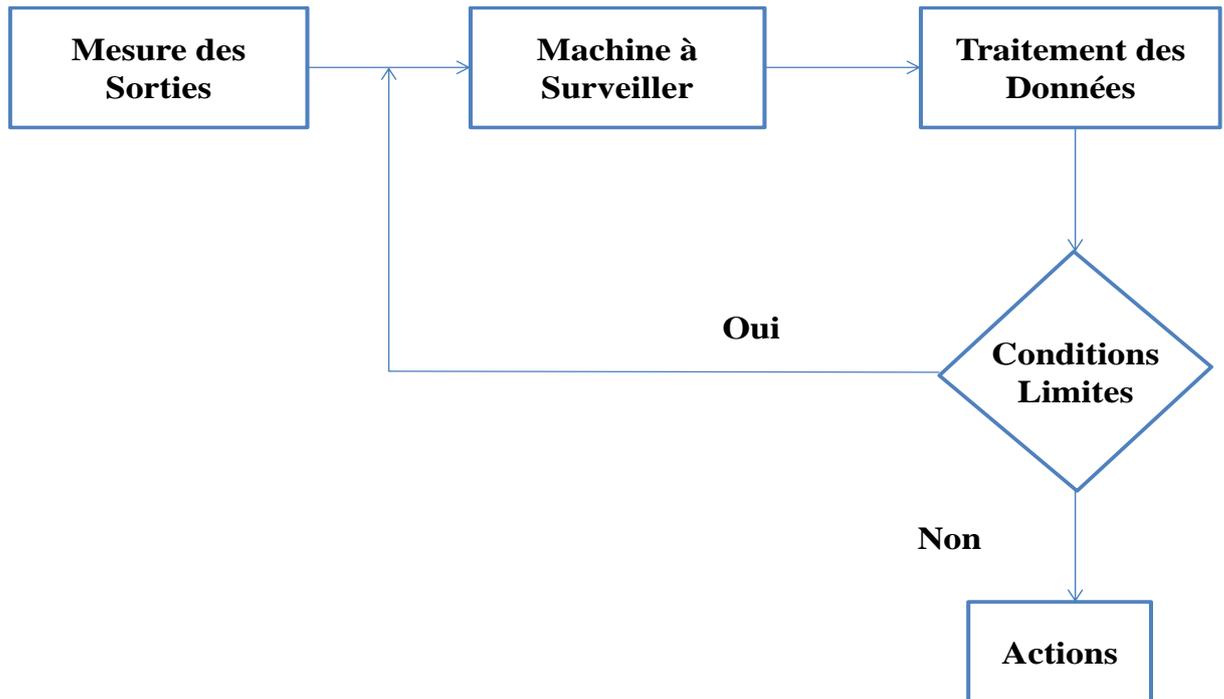


Figure II.2 : Structure de la maintenance conditionnelle

II.3.2.4. La maintenance prédictive ou prévisionnelle :

Lorsque la maintenance préventive est effectuée la base de l'estimation du temps de fonctionnement correct qui subsiste avant l'observation de l'événement redouté, on parle de maintenance prévisionnelle. Une maintenance prévisionnelle peut prendre en compte un âge du matériel que n'est pas forcément calendaire mis par exemple le temps de fonctionnement mesuré depuis la dernière inspection. [3]

II.3.2.5 But de la maintenance préventive :

1. Augmenter la durée de vie des matériels ;
2. Diminuer la probabilité des défaillances en service ;
3. Diminuer le temps d'arrêt en cas de révision ou de panne ;
4. Prévenir et aussi prévoir les interventions de la maintenance corrective coûteuse ;
5. Permettre de décider la maintenance corrective dans de bonnes conditions ;
6. Eviter les consommations anormales d'énergie, de lubrifiant, etc.;

7. Diminuer le budget de la maintenance ;

8. Supprimer les causes d'accidents graves.

II.4. Objectifs des programmes de maintenance [1] :

Un programme de maintenance d'un exploitant à quatre objectifs

- Assurer la réalisation des niveaux de sécurité, et de fiabilité inhérents aux équipements.
- Etablir la sécurité, et la fiabilité des équipements à leur niveau inhérent, lorsqu'une détérioration a eu lieu.
- Obtenir l'information nécessaire, pour améliorer le design des composants dont la fiabilité inhérente est inadéquate.
- Accomplir ces objectifs au meilleur coût total possible, incluant les coûts d'entretien et les coûts des défaillances résiduelles.
-

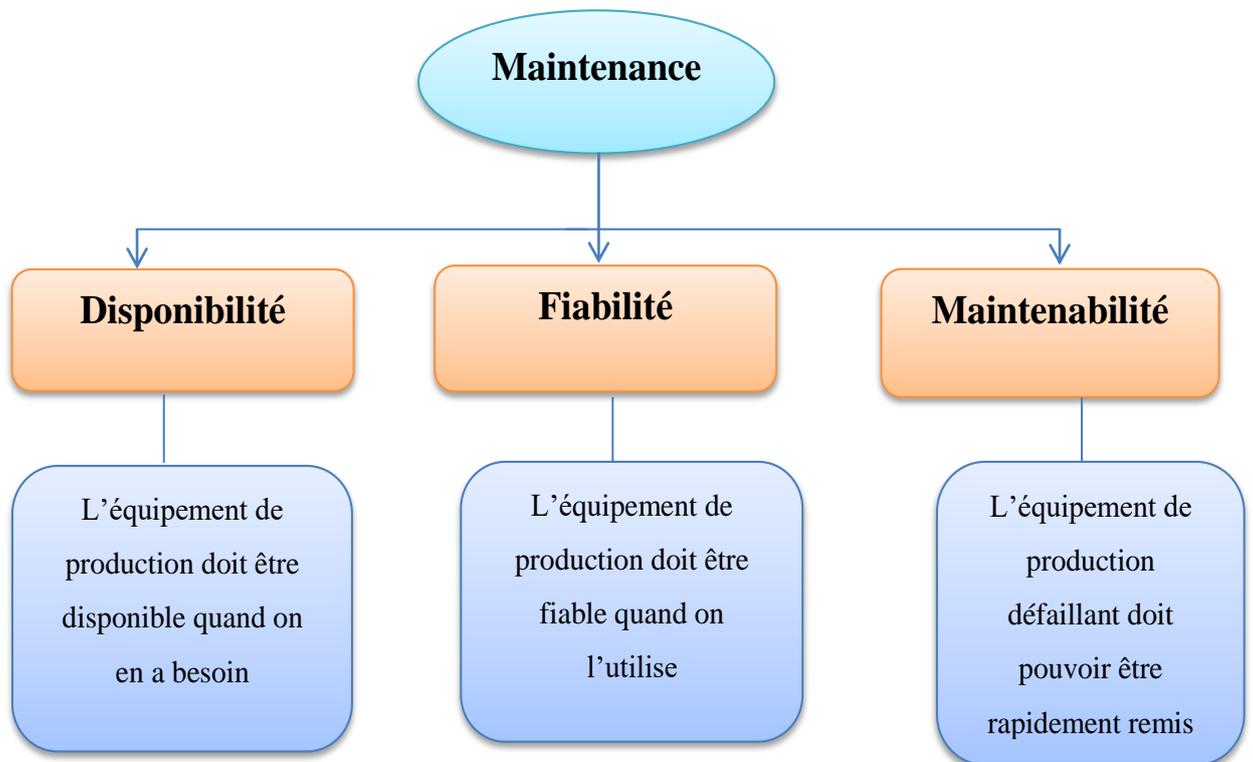


Figure II.3 : Objectifs de la maintenance.

Tableau II.1 : niveaux de maintenance (norme AFNOR).

NIVEAU	ACTIVITES
Niveau 1	ronde, petit entretien, graissage
Niveau 2	échange standard, contrôles du bon fonctionnement
Niveau 3	diagnostic, petites réparations, opérations mineures préventives
Niveau 4	travaux de maintenance préventive et corrective, réglage des moyens de mesure
Niveau 5	rénovation, reconstruction et réparations importantes

II.5. Fiabilité, maintenabilité et disponibilité (FMD) des systèmes :

II.5.1. Introduction :

La fiabilité est l'une des composantes essentielles de la qualité d'un produit et elle est retenue en tant que critère fondamental pour leur élaboration. Elle est prise en considération dès le stade de la conception.

La fiabilité est la caractéristique d'un dispositif exprimée par la probabilité que ce dispositif accomplisse une fonction requise dans des conditions d'utilisation et pour une période de temps déterminés. [4]

La fiabilité est la science des défaillances basée sur l'expérience. Elle est indissociable de la qualité. Plus une machine est constituée d'un nombre important de composants plus la fiabilité de cette dernière a tendance à diminuer. Lorsque les composants sont trop nombreux ou trop complexes, il arrive fréquemment un moment où la maîtrise de la fiabilité n'est plus possible et hypothèse d'une défaillance très probable. Un ensemble composé de pièces de très haute qualité ne garantit pas nécessairement une grande fiabilité après assemblage (les interactions qui se produisent entre les composants diminuent la capacité de l'ensemble).

De même, une grande fiabilité sous certaines conditions ne garantit pas forcément une grande fiabilité sous d'autres conditions.

La meilleure connaissance de la fiabilité provient de l'analyse des défaillances lorsque les produits sont en service. C'est le service de maintenance qui est chargé de collecter les données qui permettront d'établir des lois statistiques sur une population importante et sur un temps long. [4]

II.5.1.1 Définitions de la Fiabilité :

La fiabilité " R " est la probabilité qu'a un bien (produit ou système) à accomplir, de manière satisfaisante, une fonction requise, sous des conditions données et pendant une période de temps donné. [4]

II.5.1.2. Définition de la Disponibilité :

Aptitude d'un bien à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou durant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires est assurée. Cette aptitude dépend de la combinaison de la fiabilité, de la maintenabilité et de la logistique de maintenance. Les moyens extérieurs nécessaires autres que la logistique de maintenance n'affectent pas la disponibilité du bien [20]

II.5.1.3 Définition de la Maintenabilité :

Dans les conditions d'utilisation données pour lesquelles il a été conçu, la maintenabilité est l'aptitude d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits. [21].

II .5.1.4 Sécurité :

Eviter les situations dangereuses pour les opérateurs, les utilisateurs et l'environnement. [9]

II.5.2. Les indicateurs opérationnels de FMD :

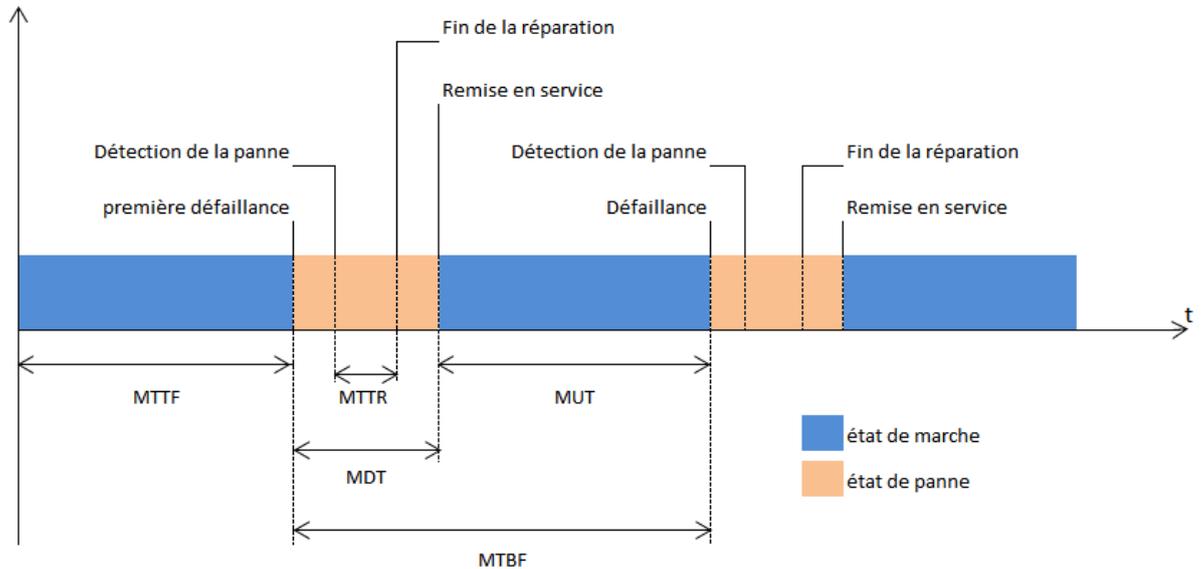


Figure II4 : Les états successifs que peut prendre un système réparable.

En fait, les grandeurs portées par le graphe sont des durées temporelles (TBF) auxquelles on fait correspondre des moyennes (MTBF) obtenues par exploitation statistiques $M(t)$ ou probabiliste des durées constatées et enregistrées. Les sigles utilisés sont d'origine anglo-saxonne et correspondent aux notions suivantes [10] :

- **MTTF:** (Mean time of first failure) Temps moyen avant-première défaillance;
- **MTBF:** (Mean time between failure) Temps moyen entre deux défaillances successives;
- **MDT/MTI :** (Mean down time) Temps moyen d'indisponibilité ou temps moyen d'arrêt propre ;
- **MUT:** (Mean up time) Temps moyen de disponibilité ;
- **MTTR:** (Mean time to repair) Temps moyen de réparation.

II.5.3. La fiabilité :

II.5.3.1 Différents types de fiabilité :

a) Fiabilité prévisionnelle :

La fiabilité prévisionnelle permet d'estimer la fiabilité a priori d'un composant, d'un équipement, d'un système. Pour cela, on assimile le comportement de chaque constituant élémentaire à des modèles de probabilité mathématiques et de vieillissement physique. Le retour d'expérience et la réalisation d'essais fondent la construction de ces modèles du comportement du point de vue de la fiabilité

b) Fiabilité intrinsèque (fournie par le constructeur) :

Fiabilité d'un dispositif mesurée au cours d'essais spécifiques dans le cadre d'un protocole d'essais entièrement définis (Obtenus à partir d'essais de laboratoire). [1]

c) Fiabilité opérationnelle :

La fiabilité opérationnelle est Mesurée sur le dispositif en exploitation normale; dépend des conditions réelles d'utilisation du système [11].

II.5.3.2 Les indicateurs de fiabilité [1]:

Tableau II.2 : Les indicateurs de fiabilité

Indice	Description
N	Nombre de pannes.
MTTF	Moyenne des temps de bon fonctionnement jusqu'à la première défaillance, dont la date d'arrivée est peu significative de la suite.
R (t)	Fonction fiabilité. C'est la fiabilité stricte définie comme la probabilité de bon fonctionnement d'un système à l'instant t, déterminée comme précédemment à partir d'un modèle probabiliste ajusté à un échantillon.
MTBF	Calculée à partir de l'espérance mathématique de la variable aléatoire TBF en utilisant une loi de probabilité R (t) ajustée à un échantillon de n valeurs de TBF relevés.
λ (t)	Fonction taux de défaillance. Déduite de la fonction R (t), c'est un bon indicateur du comportement temporel du système (jeunesse, maturité, vieillesse). En d'autre terme, c'est la vitesse à laquelle les défaillances se produisent.

A. Taux de défaillance instantané (ou taux d'avarie) [1] :

Le taux instantané de défaillance, $\lambda(t)$, est une des mesures caractéristiques de la fiabilité. La valeur $\lambda(t)dt$ représente la probabilité conditionnelle d'avoir une défaillance dans l'intervalle de temps $[t; t + dt]$, sachant qu'il n'y a pas eu de défaillance dans l'intervalle de temps $[0; t]$.

Ainsi, en appliquant le théorème des probabilités conditionnelles, puis le théorème des probabilités totales, $\lambda(t)$ s'écrit :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$$

$$\text{Ou } \lambda(t) = \frac{R'(t)}{R(t)}$$

$$\text{Ou } \lambda(t) = \frac{f(t)}{1-F(t)}$$

Remarque: Expérimentalement $\lambda(t)$ est une courbe en baignoire.

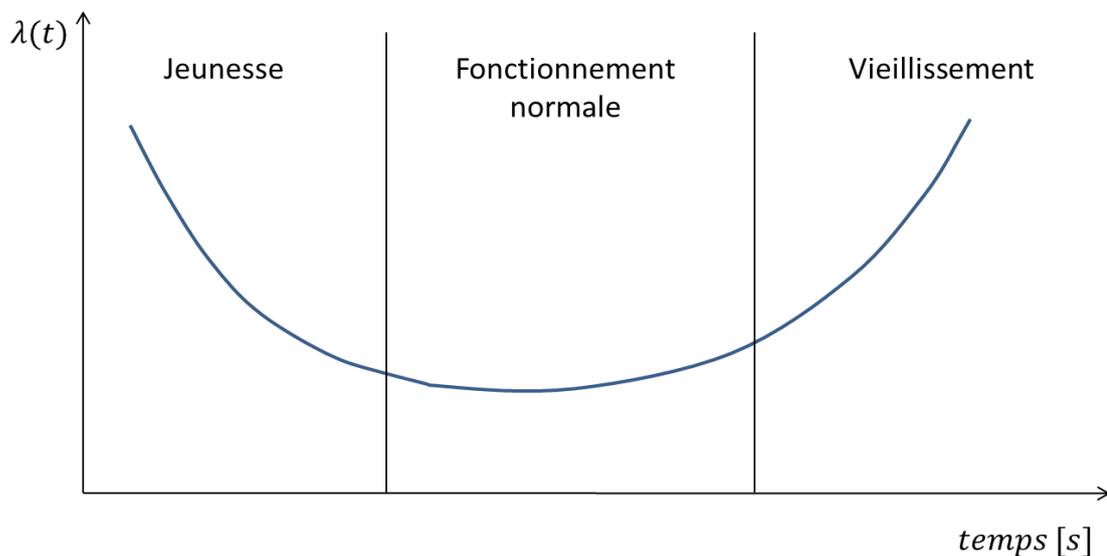


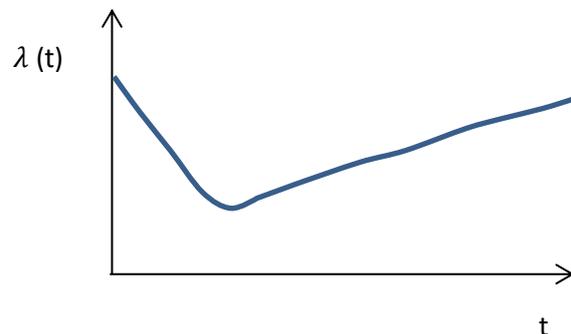
Figure II.5 : la courbe baignoire d'un système.

La courte période de temps du côté gauche de la courbe est une région où les taux de panne sont élevés, mais décroissants. Cette région est définie comme la période de mortalité infantile.

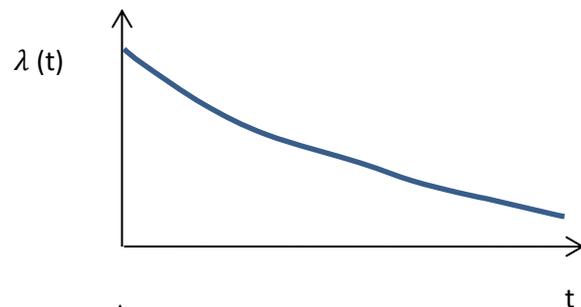
Dans cette région, les pièces et les équipements défectueux tombent en panne parce qu'ils n'ont pas été fabriqués ou construits adéquatement.

La section du milieu de la courbe baignoire contient le plus petit et le plus constant taux de panne. Cette section est connue comme la vie utile de dispositif ou de la pièce. Ce comportement constant et plat est révélateur de pannes aléatoires. La partie droite de la courbe correspond à des taux de panne croissants. Pendant cette période, les pannes dues au vieillissement deviennent dominantes. Cette courbe exprime la jeunesse, la maturité et le vieillissement d'un système.

• Equipement électronique :



• Programme d'ordinateur :



• Equipement mécanique :

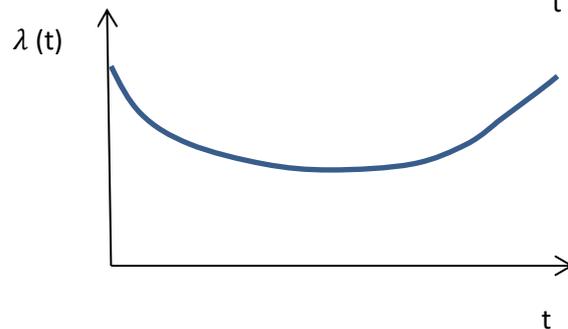


Figure II.6 : présentation des courbes de taux de panne des différents équipements

B. Temps moyen entre deux défaillances successives (MTBF) :

Le MTBF (Mean Time Between Failure) est souvent traduit comme étant la moyenne des temps de bon fonctionnement mais représente la moyenne des temps entre deux défaillances. En d'autres termes, Il correspond à l'espérance de la durée de vie t . [4]

$$MTBF = \int_0^{+\infty} R(t)$$

Par définition le MTBF est la durée de vie moyenne du système.

$$MTBF = \frac{\text{somme des temps des fonctionnement entre les pannes}}{\text{nombre totale des pannes}}$$

II.5.4 Les lois de Fiabilité :

Il est toujours possible d'associer à une variable aléatoire une probabilité et définir ainsi une loi de probabilité. Lorsque le nombre d'épreuves augmente indéfiniment, les fréquences observées pour le phénomène étudié tendent vers les probabilités et les distributions observées vers les distributions de probabilité ou loi de probabilité. Une loi de probabilité est un modèle représentant "au mieux", une distribution de fréquences d'une variable aléatoire. [4]

II.5.4.1 Les principales lois de probabilité utilisées en fiabilité [1]:

1. **Les lois discrètes** : La loi binomiale et la loi de poisson

2. **Les lois continues** : La loi de weibull, loi exponentielle, loi normale et loi log normale.

II.5.5 Lois usuelles de la fiabilité :

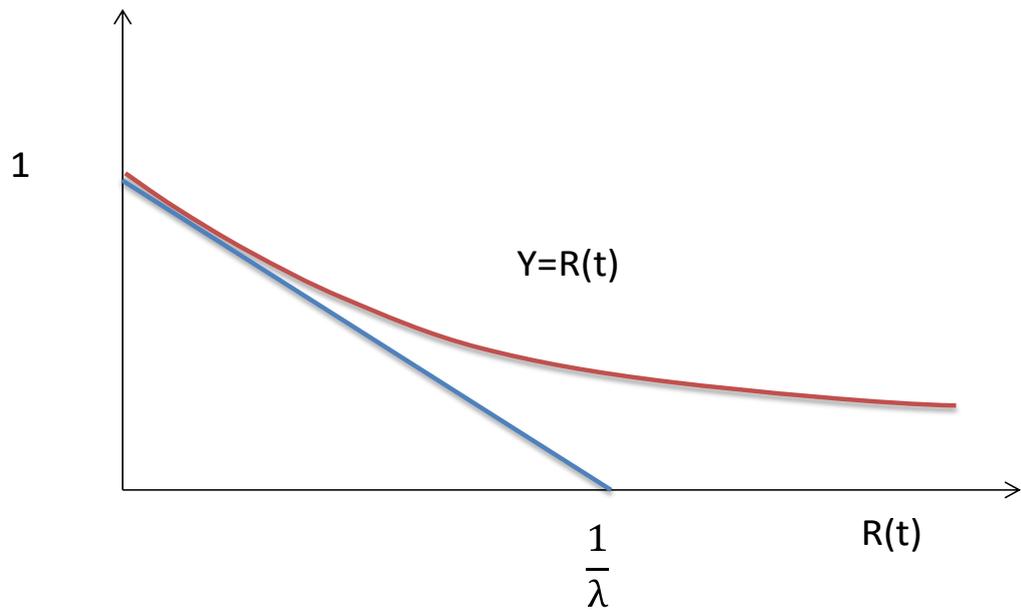
a) Loi exponentielle :

En raison des applications multiples de cette loi qui n'est autre qu'un cas particulier de la loi de Weibull, on présentera dans ce qui suit un large développement de cette loi avec plusieurs applications. [4]

• **Fonction de fiabilité:** $R(t) = e^{-\lambda t}$

• **Fonction de défaillance:** $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$

• **Densité de probabilité:** $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$



• **Figure II.7:** présentation de fonction de fiabilité.

b) Loi de Weibull

La loi de Weibull C'est une loi de fiabilité à 3 paramètres qui permet de prendre en compte les périodes où le taux de défaillance n'est pas constant (jeunesse et vieillesse) [4]. Cette loi permet :

- Une estimation de la MTBF
- Les calculs de $\lambda(t)$ et de $R(t)$ et leurs représentations graphiques
- Grâce au paramètre de forme β d'orienter un diagnostic, car β peut être caractéristique de certains modes de défaillance

Les 3 paramètres de la loi sont :

γ, β, η définissent la distribution de Weibull.

On utilise trois paramètres :

- β : paramètre de forme ($\beta > 0$)
- η : paramètre d'échelle ($\eta > 0$)
- γ : paramètre de position ($-\infty > \gamma > +\infty$)

Les différentes formules utilisées pour la distribution de weibull sont [12]:

• **La densité de probabilité :** $f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right]$

$f(t)$: Probabilité d'avarie au temps t .

• **La Fonction répartition :** $F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right]$

$F(t)$: probabilité d'avarie cumulée au temps de 0 à t .

• **La Fonction de fiabilité:** $R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right]$

$R(t)$: probabilité de suivi cumulée au-delà du temps.

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

$\lambda(t)$: probabilité d'avarie au temps $t+\Delta t$.

II.5.6 Diagramme de fiabilité :

Le diagramme de fiabilité est un modèle graphique utilisé en sûreté de fonctionnement pour représenter l'état de marche d'un système en fonction des états de marche de ses composants. Il partage avec l'arbre de défaillances les mêmes bases booléennes et probabilistes. Cet article décrit sa mise en œuvre, les difficultés et les solutions pour l'utiliser qualitativement (coupes minimales) et quantitativement (disponibilité, fréquence de défaillance ou fiabilité). Il décrit l'état de l'art basé sur l'utilisation des diagrammes de décision binaires, fournit des exemples illustratifs et aborde les extensions aux aspects non cohérents ou dynamiques.

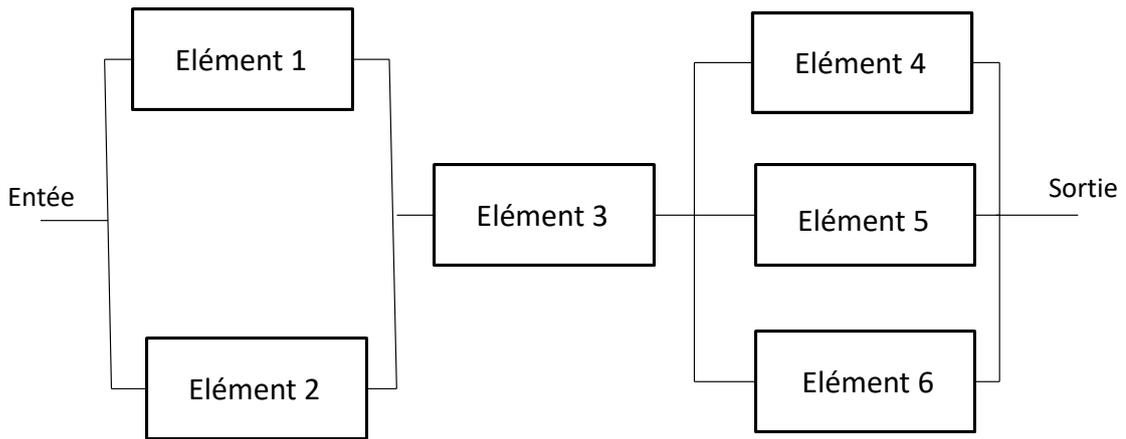


Figure II.8 : exemple de diagramme de fiabilité

II.5.6.1 Fiabilité de système constitué de plusieurs composants [4]:

A. Éléments en série :

• En série

_ La fiabilité R_s d'un ensemble de n constituants connectés en série est égale au produit des fiabilités respectives R_A, R_B, R_C, R_n de chaque composant.

$$R_s = R_A * R_B * R_C * ... * R_n$$

_ Si les "n" composants sont identiques avec une même fiabilité R la formule sera la suivante :

$$R(s) = R^n$$

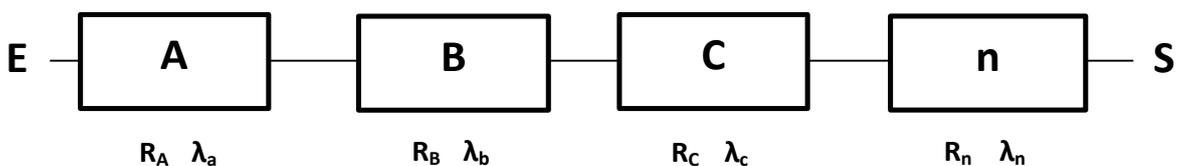


Figure II.9 : diagramme de fiabilité d'un système constitué de N éléments en série.

Si les taux de défaillances sont constants au cours du temps la fiabilité sera calculée suivant la formule:

$$R(t) = (e^{-\lambda a t}) * (e^{-\lambda b t}) * (e^{-\lambda c t}) * (e^{-\lambda n t})$$

Avec :

$$MTBF(s) = \frac{1}{\lambda a + \lambda b + \lambda c + \dots + \lambda n}$$

- **En parallèle :**

La fiabilité d'un système peut être augmentée en plaçant les composants en parallèle. Un dispositif constitué de **n** composants en parallèle ne peut tomber en panne que si les **n** composants tombent en panne au même moment.

Si **Fi** est la probabilité de panne d'un composant, la fiabilité associée **Ri** est son complémentaire:

$$Fi = 1 - Ri$$

Fi représentant la fiabilité associée

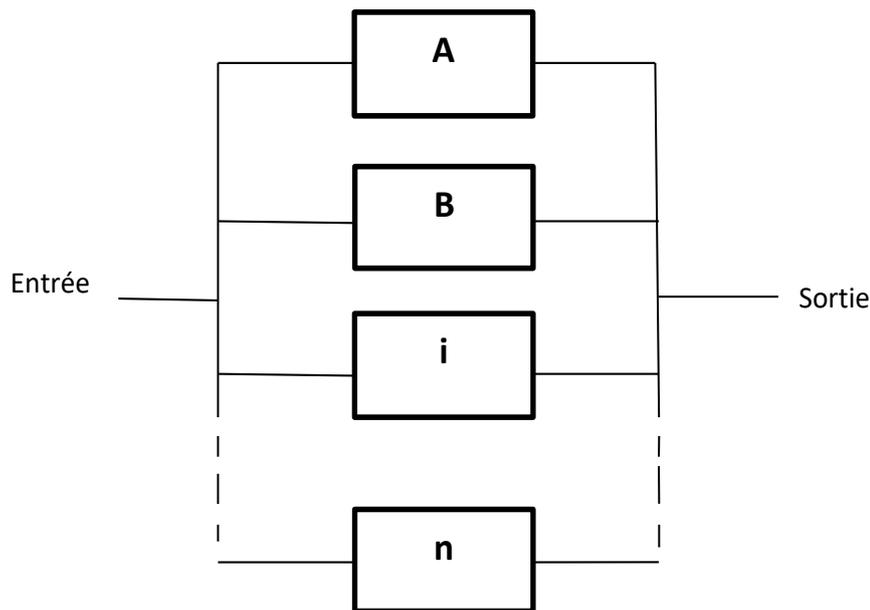


Figure II.10 : diagramme de fiabilité d'un système constitué de N éléments en parallèle

Soit les “n” composants de la figure ci-dessous montés en parallèle. Si la probabilité de panne pour chaque composant repéré (i) est notée F_i alors:

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

II.6. Maintenabilité du matériel :

II.6.1. Définition :

D'après la norme AFNOR X 60-010 ; « dans des conditions données d'utilisation, la maintenabilité est l'aptitude d'un dispositif à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il peut accomplir sa fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits ».

Par analogie avec la fiabilité, il est possible de donner à la maintenabilité une définition probabiliste :

« La maintenabilité est la probabilité de rétablir un système dans des conditions de fonctionnement spécifiées, en des limites de temps désirées, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions et avec des moyens prescrits »

II.6.2. Temps Techniques de Réparation TTR [1]:

Le TTR d'une intervention se compose en général de la somme des temps suivants :

- temps de vérification de la réalité de la défaillance (quelquefois, il y a de fausses alarmes)
- temps de diagnostic ;
- temps d'accès à l'organe défaillant (déposes ou bien démontages) ;
- temps de remplacement ou de réparation ;
- temps de réassemblage ;
- temps de contrôle et d'essais.

Les temps « morts » suivants sont à éliminer du TTR :

- temps d'attente pour indisponibilité des techniciens, des outils ou des pièces de rechange
- arrêts de travail ; etc.

Si les temps « morts » sont supérieurs ou égaux au TTR, une remise en cause de l'organisation et de la gestion de la maintenance est indispensable.

II.6.3. Les critères de maintenabilité :

Les normes NF X 60-300 et X 60-301 spécifient cinq types de critères de maintenabilité. Le premier critère est relatif à la surveillance de la maintenance préventive. Il est important de connaître à ce niveau l'accessibilité de la composante, sa démontabilité et son interchangeabilité.

Le deuxième est relatif à la maintenance corrective, plus particulièrement, le temps de recherche de panne ou de défaillance et le temps de diagnostic. Le troisième critère est relatif à l'organisation de la maintenance, pris en compte par la périodicité du préventif, le regroupement à des périodes identiques, l'homogénéité de la fiabilité des composants, la présence d'indicateurs et de compteurs et la complexité des interventions. L'avant-dernier critère est lié à la qualité de la documentation technique. Celui-ci comporte la valeur du contenu, la disponibilité de la documentation, le mode de transmission et les principes généraux de rédaction et de présentation de la documentation technique. Le dernier critère de maintenabilité est lié au suivi du bien par le fabricant. Il sera question de l'évolution du fabricant, de la qualité du service après-vente et de l'obtention des pièces de rechange.

II.6.4. Les indicateurs de maintenabilité [1]:

Tableau II.3 : Les indicateurs de maintenabilité.

Indice	Description
MTTR	La MTTR est le principal indicateur de maintenabilité. Elle peut être obtenue par la moyenne statistique d'un échantillon de valeurs TTR ou par l'espérance mathématique de TTR obtenue à partir d'un modèle probabiliste. n
M (t)	C'est la fonction de maintenabilité stricte. C'est la probabilité associée à un instant T, d'une remise en état de fonctionnement. Elle est déterminée à partir d'un modèle probabiliste.

II.6.5. Expressions mathématiques

Il y a analogie entre l'étude probabiliste de la fiabilité et la maintenabilité. Dans le cas de la maintenabilité, la variable aléatoire est la durée de l'intervention ou temps technique de réparation (TTR). La densité de probabilité est notée $g(t)$.

La maintenabilité $M(t)$ s'exprime en fonction de la densité de probabilité, notée $g(t)$, par la relation suivante [13]:

$$M(t) = \int_0^t g(t)dt$$

Le taux de réparation est noté $\mu(t)$ et s'exprime par :

$$\mu(t) = g(t) / (1 - M(t))$$

Le MTTR est donné par :

$$MTTR = \int_0^{+\infty} tg(t)dt$$

$MTTR = \frac{1}{\mu}$ Dans le cas où le taux de réparation $\mu(t)$ est constant.

En ce qui concerne l'obtention des données, les TTR sont saisis sur les bons de travaux (BT), et la procédure d'estimation de $M(t)$ est semblable à celle de la fiabilité.

II.7. La disponibilité :

II.7.1. Introduction

Lorsqu'on étudie la fiabilité, on s'intéresse non seulement à la probabilité de panne, mais aussi au nombre de pannes et, en particulier, au temps requis pour faire les réparations. Dans cette perspective, deux nouveaux paramètres de la fiabilité deviennent notre centre d'intérêt. La disponibilité est la probabilité qu'un système soit disponible pour être utilisé à un moment donné du temps (**Figure 11**).

Cette définition est proche de celle de la fiabilité, sauf que le système demandé doit fonctionner à l'instant (t) et non sur une période de temps $(0 \text{ à } t)$. [10]

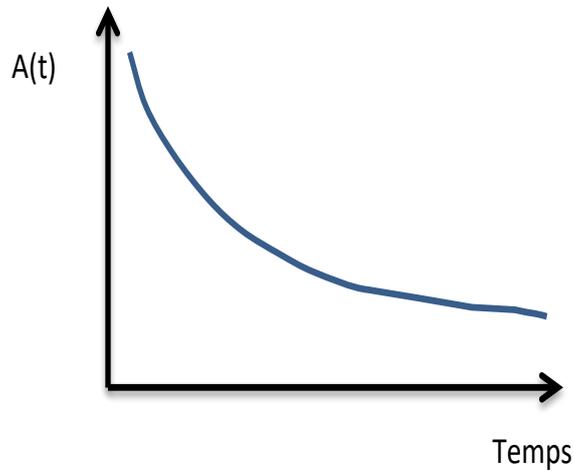


Figure II.11 : la variation de disponibilité d'un système

$A(t)$ = probabilité qu'un système fonctionne de façon satisfaisante au moment t .

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

II.7.2. Différente formes de disponibilité [1] :

Pour qu'un équipement présente une bonne disponibilité il doit :

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

La disponibilité relie donc les notions de fiabilité et de maintenabilité.

On a trois formes de disponibilité qui sont :

II.7.2.1. Disponibilité moyenne :

La disponibilité moyenne sur un intervalle de temps donné peut être évaluée par les rapports suivants :

$$D = D(t) = \frac{\text{Temps de disponibilité}}{\text{Temps de disponibilité} + \text{Temps de indisponibilité}}$$

$$\text{Indisponibilité} = 1 - \text{disponibilité} = 1 - D$$

$$D(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \left(1 + \frac{\lambda}{\mu} \exp(-(\lambda + \mu)t)\right)$$

II.7.2.2. Disponibilité intrinsèque :

Cette disponibilité est évaluée en prenant en compte les moyennes de bon fonctionnement et les moyennes de réparation, ce qui donne :

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

MTBF : moyenne des temps de bon fonctionnement.

MTTR : Temps moyen de réparation.

II.7.2.3. Disponibilité opérationnelle :

Pour cette mesure, sont pris en compte les temps logistique ce qui donne.

$$D_o = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR + MTL}$$

MTL : moyenne des temps logistique.

II.8. Analyse de L'AMDEC :

II.8.1 : définition de l'AMDEC :

L'AMDEC est un processus s'applique à des processus de fabrication .Elle est utilisée pour analyse et évaluer la criticité de toutes les défaillances potentielles d'un produit engendrées par son processus .Elle peut être utilisée pour les postes de travail.

II.8. 2 : BUT DE L'ANALYSE AMDEC :

Le but de cette analyse est de déterminer les modes de défaillances avec leurs effets et leur criticité par rapport aux organes sensibles de la turbine à gaz.

II .8.3 : DEROULEMENT DE LA METHODE :

La méthode AMDEC se déroule en 5 étapes :

- Initialisation.

- Analyse fonctionnelle.
- Analyse des défaillances.
- Cotation des défaillances.
- Actions correctives menées.

II .8.4 : AMDEC appliquée sur la turbine à gaz :

L'objectif de cette étude est d'aboutir aux différents modes de défaillance des constituants de la turbine à gaz, afin d'évaluer leurs criticités et proposer des actions correctives et préventives permettant d'améliorer la disponibilité et le rendement de cette dernière dont la phase d'étude est la marche normale.

II .8.5.1 : L'indice de criticité C :

L'indice de criticité est calculé pour chaque défaillance, à partir de la combinaison des trois critères précédents, par la multiplication de leurs notes respectives :

$$C = F * D * G$$

Chacun de ces critères sera évalué avec une table de cotation établie sur 4 niveaux, pour le critère de gravité, pour le critère de fréquence et de non-détection. Le tableau ci-dessous présente le barème de cotation de la criticité utilisée.

C= criticité.

F= fréquence.

D= détection.

G=gravité.

Tableau II.4 : Les indices de criticité :

Détection	
Note	Critère
1	Visite par opérateur
2	Détection par un agent de maintenance
3	Détection difficile
4	Indétectable

Fréquence	
Note	Critère
1	1 défaillance maxi par an
2	1 défaillance maxi par trimestre
3	1 défaillance maxi par mois
4	1 défaillance maxi par semaine

Gravité	
Note	Critère
1	Mineure (pas d'arrêt de production)
2	Moyenne (arrêt \leq 1h)
3	Majeure (1h < arrêt \leq 8h)
4	Très critique (arrêt > 8h)

Conclusion :

L'étude de la fiabilité et maintenabilité et disponibilité a mis en valeur l'état des équipements de production, L'analyse des modes de défaillance de leurs effets et leur criticité (AMDEC) est une approche qualitative pour l'études et optimisation de la fiabilité et la sûreté dans différents domaines.

III 1. Historique de la turbine à gaz :

En 1961 la firme - NUOVO PIGNONE - a commencé la production des turbines à gaz pour application fixe (destinées en premier lieu à l'industrie pétrochimique). Ces turbines sont fabriquées sur la base d'un accord stipulé avec GENERAL ELECTRIC. Les modèles MS 3000-5000-7000 et 9000 sont entièrement projetés par GE qui fournit à NP les parties tournantes et les aubages. [17]

III 2. Définition:

La turbine à gaz est un moteur à combustion interne de tous les points de vue. Elle peut être considérée comme un système autosuffisant. En effet, elle prend et comprime l'air atmosphérique dans son propre compresseur, augmente la puissance énergétique de l'air dans sa chambre de combustion et convertit cette puissance en énergie mécanique utile pendant les processus de détente qui a lieu dans la section turbine.

L'énergie mécanique qui en résulte est transmise par l'intermédiaire d'un accouplement à une machine réceptrice, qui produit la puissance utile pour le processus industriel.

Sous sa forme la plus simple une turbine à gaz comprend un compresseur axial qui aspire l'air à la pression atmosphérique, une chambre de combustion, où l'air comprimé est réchauffé à pression constante par la combustion d'une certaine quantité de combustible (gaz naturel, gasoil ou kérosène) et enfin une turbine de détente des gaz jusqu'à la pression atmosphérique.

Une turbine à gaz se définit par:

- Son type à un arbre ou deux arbres.
- Sa machine à entraîner fixe ou mobile.
- La nature de son cycle thermique, simple ou avec récupération.

De nos jours la turbine à gaz connaît une large utilisation et dans différents domaines et en particulier dans le domaine des hydrocarbures à cause de leur grande gamme de puissances et leurs propres avantages.

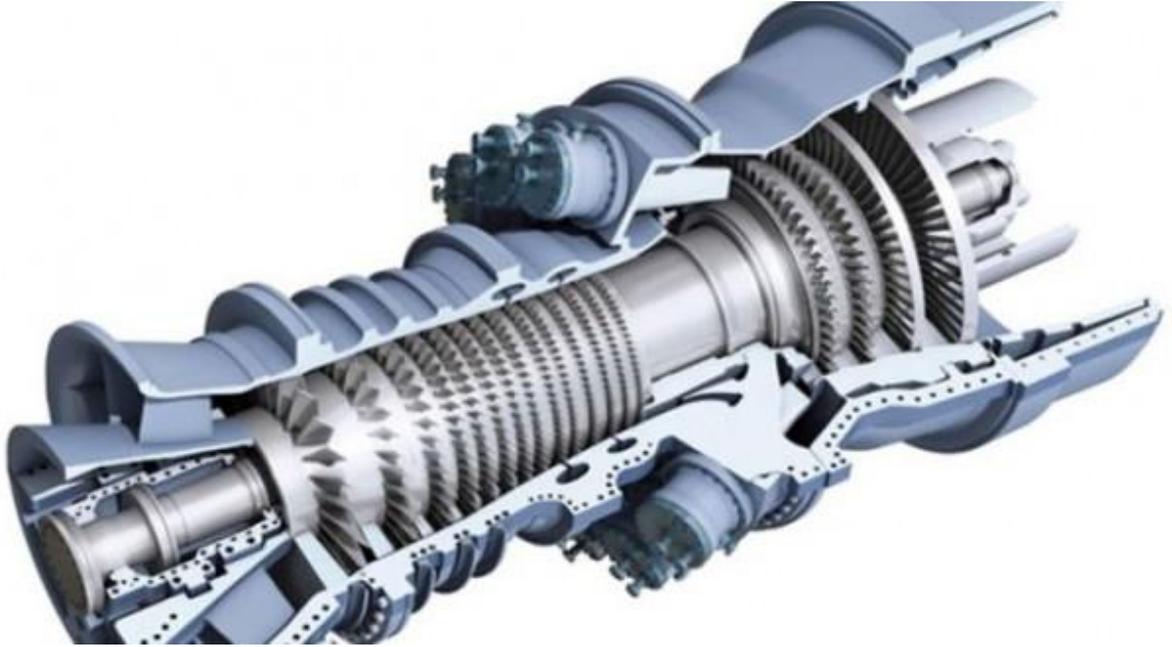


Figure III.1. Vue d'une turbine à gaz

III 3. Classification des turbines à gaz :

III 3.1. Par le mode de construction [14]:

a. Turbine mono-arbre :

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

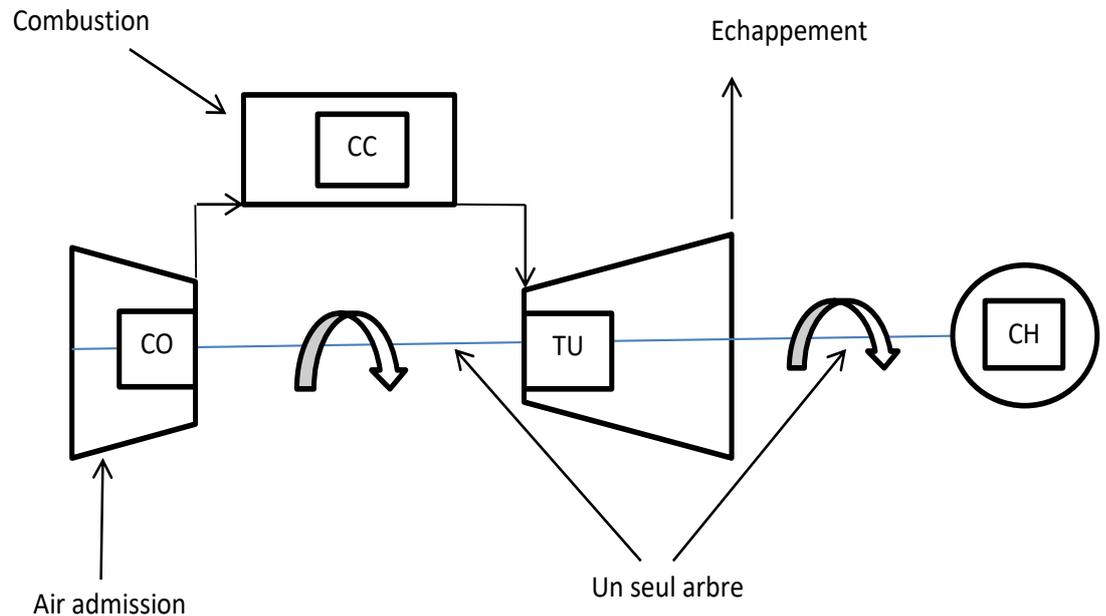


Figure III.2 : Schéma d'une turbine à gaz mono-arbre.

CO : Compresseur axial.

CC : Chambre de combustion.

T : Turbine.

CH : Charge.

b. Turbine bi-arbre :

La turbine à gaz se compose de deux roues turbines indépendantes mécaniquement.

La roue turbine HP entraîne le rotor du compresseur axial et les accessoires, tandis que la roue BP deuxième étage sert à entraîner l'organe récepteur (ex : les compresseurs). Le but des roues turbines non reliés est de permettre aux deux roues de fonctionner à des vitesses différentes pour satisfaire aux exigences de charge variable de l'organe récepteur.

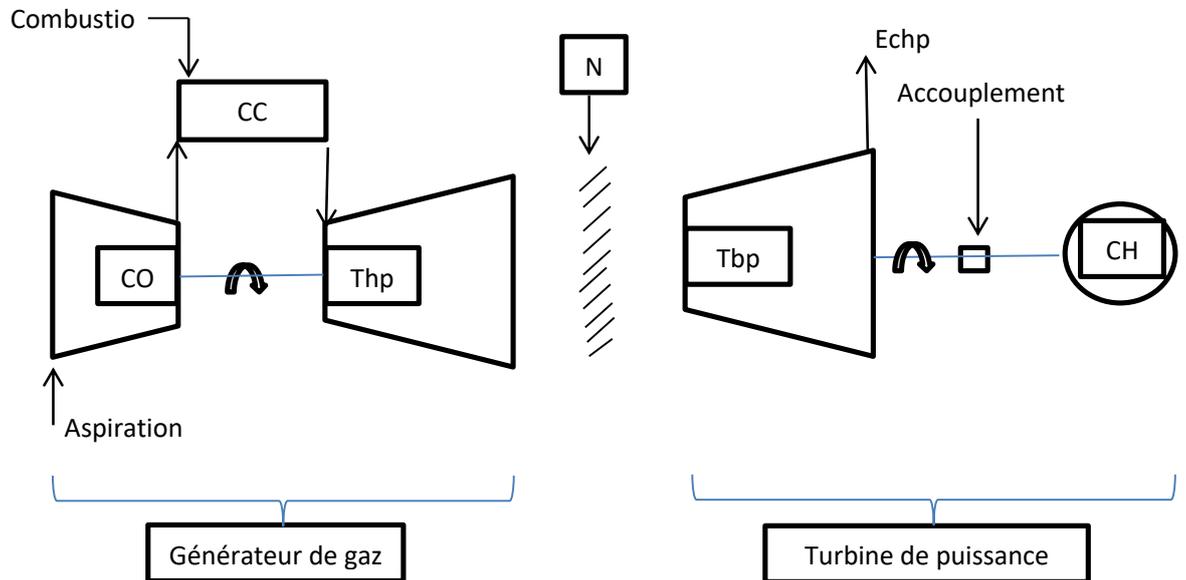


Figure III.3 : Schéma d'une turbine à gaz bi-arbre

CO : Compresseur axial.

CC : Chambre de combustion.

Thp : Turbine à haute pression.

Tbp : Turbin à basse pression.

N : Réducteur.

CH : Charge.

III 3.2. Par le mode de travail [14] :

On distingue deux types de turbine :

- **Turbine à action :**

Où l'énergie thermique est transformée complètement en énergie cinétique dans la directrice.

L'évolution des gaz dans la roue se fait sans variation de pression statique

$P_1 > P_2 = P_3$.

- **Turbine à réaction :**

Une partie de l'énergie thermique est transformée dans la roue en énergie cinétique et mécanique. L'évolution des gaz dans la roue se fait avec variation de la pression statique

$P_1 > P_2 > P_3$. Le taux de réaction ε caractérisera le % d'énergie thermique totale.

III 3.3. Par le mode de fonctionnement thermodynamique [19] :

Il existe deux cycles thermodynamiques :

- **Turbine à gaz à cycle fermé :** dans laquelle le même fluide est repris après chaque cycle.
- **Turbine à gaz à cycle ouvert :** c'est une turbine dont l'aspiration et l'échappement s'effectuent directement dans l'atmosphère, ce type de turbine qui est le plus répandu se divise en deux classes :
- **Turbine à cycle simple :** c'est une turbine utilisant un seul fluide pour la production d'énergie mécanique, après la détente les gaz possèdent encore un potentiel énergétique qui est perdu dans l'atmosphère à travers l'échappement.
- **Turbine à cycle régénéré (combiné):** c'est une turbine dont le cycle thermodynamique fait intervenir plusieurs fluides moteurs dans le but d'augmenter le rendement de l'installation.

III 4. Principe de fonctionnement de la turbine à gaz:

Une turbine à gaz fonctionne de la façon suivante :

- a. elle extrait de l'air du milieu environnant (aspiration) ;
- b. elle le comprime à une pression plus élevée par le compresseur (compression) ;
- c. elle augmente le niveau d'énergie de l'air comprimé en ajoutant et en brûlant le combustible dans une chambre de combustion (gaz chaud) ;
- d. elle achemine de l'air à pression et à température élevées vers la section de la turbine, qui convertit l'énergie thermique en énergie mécanique pour faire tourner l'arbre (expansion) ;

Chapitre III : généralité sur la turbine à gaz

ceci sert, d'un côté, à fournir l'énergie nécessaire pour la compression de l'air, qui a lieu dans un compresseur relié directement à la section turbine et, de l'autre coté à fournir l'énergie utile à la machine conduite, couplée avec la machine au moyen d'un accouplement comme par exemple un alternateur ou un compresseur centrifuge ;

e. elle décharge à l'atmosphère les gaz à basse pression et température résultant de la transformation mentionnée ci-dessus (échappement). [18]

III 5. Caractéristiques techniques et de fonctionnement pour la turbine à gaz MS5002 C

:

Tableau III.1 : Les caractéristiques techniques de la turbine :

Caractéristiques générales	
Série du model de la turbine à gaz	MS-5002C
Application de la turbine à gaz	entraînement mécanique.
Cycle de la turbine	Simple
Rotation de l'arbre	Sens antihoraire
Vitesse de rotation de la roue HP	5100 RPM.
Vitesse de rotation de la roue BP	4900 RPM
Système de contrôle	Mark V SPEEDTRONIC
Température d'entrée	59 F
Pression d'échappement	14.7 PSI
La section de compresseur d'air	
Nombre des étages	16 étages
Type de compresseur	Débit axial, lourd.
La caisse de l'enveloppe	à plan de joint horizontal
Type des IGV	Variable
La section de la turbine	
Nombre des étages de la turbine	2 (deux arbres)
Découpe de l'enveloppe	horizontal
La section de combustion	
type	12 chambres de combustion, à flux inverse
Arrangement de chambre	trique autour du compresseur
Détecteur de flamme	4, de type ultra-violet
Autres caractéristiques	
Nombre de paliers	4 paliers
Type de système de carburant	gaz naturel

III 5.1. Caractéristiques principales de fonctionnement de la turbine MS5002 C:

- puissance spécifique élevée.
- Disponibilité élevée (> 95%).
- Poly combustible (gaz, fuel...).
- exige peu de fluide de refroidissement (eau ou air).
- accepte les conditions climatiques extrêmes (moyennant des adaptations sur l'aspiration d'air et les auxiliaires combustibles et lubrification).
- fonctionnement sous conduite et surveillance automatisée.
- mise en régime rapide (quelques dizaines de minutes).
- Son principal défaut est son faible rendement thermique intrinsèque (30% à 35%).

Le faible taux de rendement de la turbine à gaz est dû au fait que, comme dans un moteur à pistons, une partie de l'énergie fournie par le combustible est nécessaire pour entraîner le compresseur axial et une autre perdue sous forme de chaleur dans les gaz d'échappement.

L'énergie apportée par le combustible (100 %) est répartie de la manière suivante :

- fonctionnement des auxiliaires (10 %)
- fonctionnement du compresseur axial (50 %)
- travail disponible sur la sortie de la turbine de puissance (30 %)
- autres pertes (aspiration et échappement 10 %)

Remarque :

- Le rendement thermique de la turbine :

$\eta = \text{Energie à la sortie arbre de turbine} / \text{Energie du combustible à l'entrée (pouvoir calorifique inférieur)}$.

III 5.2. Les éléments principaux de la turbine :

La turbine MS5002C est faite un assemblage de plusieurs éléments dont les principaux éléments sont :

- Le compresseur axial d'air.

- La chambre de combustion.
- La caisse de turbine (roue de détente HP et de puissance BP).
- Les auxiliaires de la turbine.

III 5.2.1. Le compresseur d'air :

Est un compresseur axial a 16 étages, sa fonction est de fournir la quantité d'air nécessaire pour la combustion des gaz dans la turbine (en fonction de la charge à fournir) et aussi d'alimenter en air divers circuits de refroidissement.



Figure III.4 : Compresseur axial

III 5.2.2. La chambre de combustion :

Le rôle de la chambre de combustion consiste à brûler un mélange de carburant et d'air et à délivrer les gaz issus de la combustion vers la turbine (transformation de l'énergie chimique potentielle contenu dans le carburant en énergie calorifique).

Le rapport carburant/air pour obtenir une bonne combustion est d'environ 1/15 (richesse stœchiométrique m). On ne peut cependant admettre ce rapport idéal, car la t° en résultant serait trop élevée pour la turbine.



Figure III.5 : Chambres de combustion

III 5.2.3. La caisse de la turbine:

Le rôle de la caisse turbine est de transformer l'énergie calorifique fournie lors de la combustion en énergie mécanique disponible sur l'arbre au niveau des deux roues de la turbine. L'ensemble de la caisse turbine comprend deux roues constituées des rangées d'aubes mobiles et deux distributeurs (directrices).



Figure III.6 : La caisse de la turbine.

III 6. Principale défaillance d'une turbine à gaz [14]:

- Les tubes d'interconnexion
- Les bougies d'allumage
- Les détecteurs de flammes
- Brûleur des pièces de transition
- Les aubes de refoulement compresseur axial
- Usure des paliers
- Détérioration des joints
- Fissuration.

III 7. maintenance appliquée sur les turbines à gaz :

III 7.1. La maintenance systématique (les inspections à l'arrêt)

Elle nécessite le démontage de la turbine à différents degrés

III 7.1.1. Une inspection du système combustion (combustion inspection) chaque 8000h de fonctionnement :

Une inspection du système combustion réclame un temps d'arrêt relatif court de la turbine à gaz afin de vérifier l'état des éléments suivants :

- Brûleur
- Chambre de combustion (chemise, chapeau, douille d'écoulement)
- Tubes d'interconnexion
- Bougies d'allumage
- Détecteur de flammes

III 7.1.2. Inspections de la veine des gaz chauds : chaque 16000 h de fonctionnement :

Le but de ce niveau d'inspection est d'examiner les pièces de la turbine les plus soumises aux contraintes par les températures élevées du système des gaz de combustion ; cette visite comprend essentiellement :

- Directrices, tous les étages
- Aubes du rotor, tous les étages

- Anneaux de protection extérieurs, tous les étages

III 7.1.3. Révision générale

C'est une révision générale qui est faite chaque 32000 h de fonctionnement

Le but d'une révision générale est d'examiner toutes les pièces intérieures du stator et du rotor, de l'admission de la chambre des filtres jusqu'aux systèmes d'échappement y compris le réducteur de charge et la machine conduite

III 7.2. La maintenance conditionnelle (inspection en fonctionnement) :

Elle comprend la somme des observations faites durant le fonctionnement de l'unité. Des données en opération devant-être enregistrées pour permettre d'évaluer les performances de l'équipement, les besoins d'entretien et d'intervention lorsque ces relevés indiquent des alarmes qui vont déclencher la turbine par la suite.

IV .1. Introduction :

Positionner la maintenance au sein de l'appareil de production est un exercice difficile, comme il est toujours difficile de faire simple dans un environnement complexe. C'est l'objectif du dernier chapitre où on tente par l'exploitation de l'historique de panne de la turbine à gaz type MS5002C de faire face à l'étude expérimentale des indicateurs FMD de telle turbine tout en traçant les courbes de ces trois indicateurs.

IV .2. Exploitation de l'historique :

L'historique de panne turbine ;

Le traitement des données brutes de l'historique (tableau 1), passe par :

- Le calcul des heures d'arrêt suite à des pannes (TA) qui résultent des différences entre les dates d'arrêt et de démarrage.
- Le calcul des heures de bon fonctionnement (TBF), qui résultent des différences entre deux pannes successives.
- Le calcul des heures techniques de réparation.

Tableau IV.1 : Dossier historique de la turbine MS5002C :

N°	Date de démarrage	Date d'arrêt	TTR	TBF (h)	TA (h)	Cause
1	13/02/2014	18/10/2014	24	5952	240	- Inspection boroscopique des parties chaude. - changement des joints des thermo couples et injecteur de gaz.
2	28/10/2014	05/06/2015	06	5304	72	- Appoint d'huile
3	08/06/2015	31/10/2015	08	3408	120	- Changement de filtre d'aire de la turbine.
4	04/11/2015	05/05/2016	10	5064	120	- Changement de filtre d'huile.
5	10/05/2016	20/06/2016	12	960	24	- Intervention sur circuit de graissage.
6	21/06/2016	21/06/2016	03	192	24	- Vidange d'huile de lubrification de la caisse.

Chapitre IV: étude de FMD de la turbine à gaz

7	22/06/2016	12/07/2017	48	912	336	- Intervention sur moteur électrique GTG-ME205KT501.
8	26/07/2017	03/08/2018	15	9840	168	- Intervention sur circuit de graissage.
9	10/08/2018	26/09/2018	170	1104	1180	- révision générale sur la Turbine à gaz (inspection de chambre de combustion, inspection, d'échappement, l'analyse d'huile dans labo, inspection des ailettes)

IV.3. L'application Pratique des méthodes d'analyse :

IV .3.1. Méthodes d'analyse prévisionnelle « ABC (Pareto)»:

Définition : Pour l'application de la méthode ABC, il faut en premier lieu faire un classement des pannes par ordre décroissant des heures des pannes puis procéder à l'établissement d'un graphe de Pareto.

Tableau IV.2 : L'analyse ABC (Pareto)

N°	organe	TA (h)	Cumul TA	% TA	%cause
01	moteur électrique	336	336	30.43	14.28
02	thermo couples et injecteur de gaz.	240	576	52.17	28.56
03	circuit de graissage	192	768	69.56	42.84
04	filtre d'huile étanchéité	120	888	80.43	57.12
05	filtre d'aire de la turbine	120	1008	91.30	71.4
06	huile	72	1080	97.82	85.68
07	lubrification de la caisse et changement de filtre.	24	1104	100	100

La courbe :

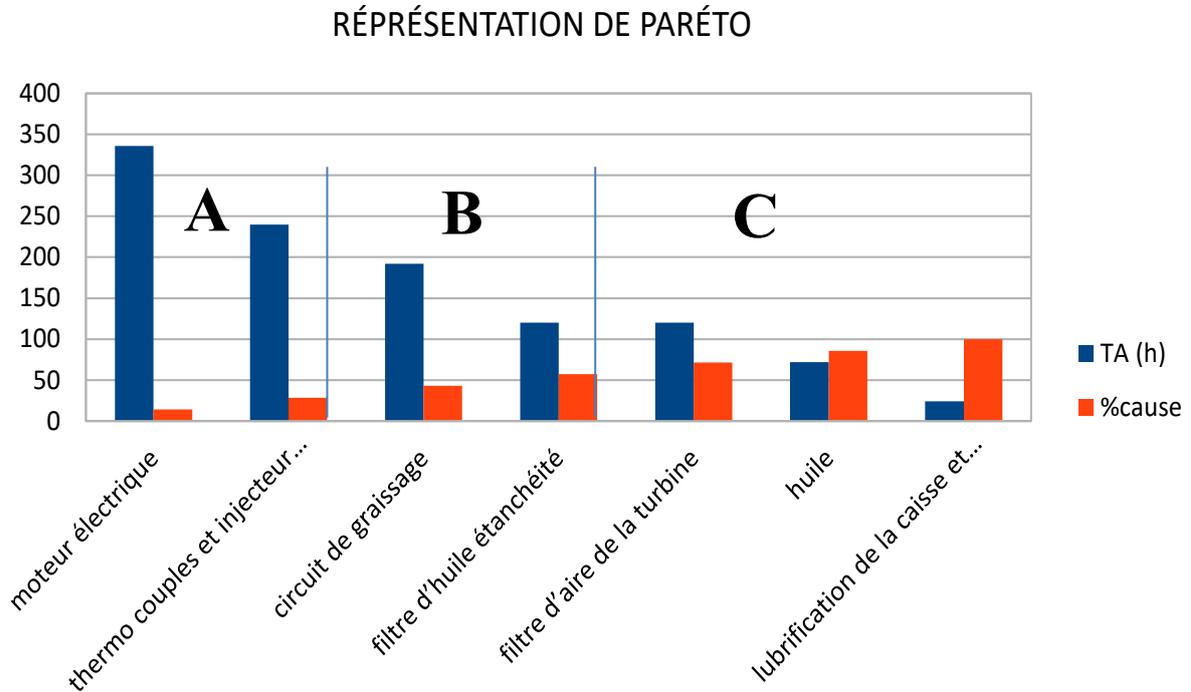


Figure IV.1: La Courbe d'ABC

➤ **Interprétation des résultats :**

Zone "A": Dans cette zone, on constate que environ 28.56% des causes représente 52.17% des heures d'arrêts, ceci constitue la zone A, (zone du moteur électrique, thermo couples et injecteur de gaz)

Zone "B": Dans cette tranche, les 28.56 % des causes représentent 28.26 % supplémentaire (circuit de graissage, filtre d'huile étanchéité).

Zone "C": Dans cette zone les 42.88 % des causes restantes ne représentent qu'ont 19.57 % des heures d'arrêts (filtre d'huile étanchéité, filtre d'aire de la turbine, huile pour KT501 et lubrification de la caisse et changement de filtre).

IV .4. Calcul les paramètres de weibull :

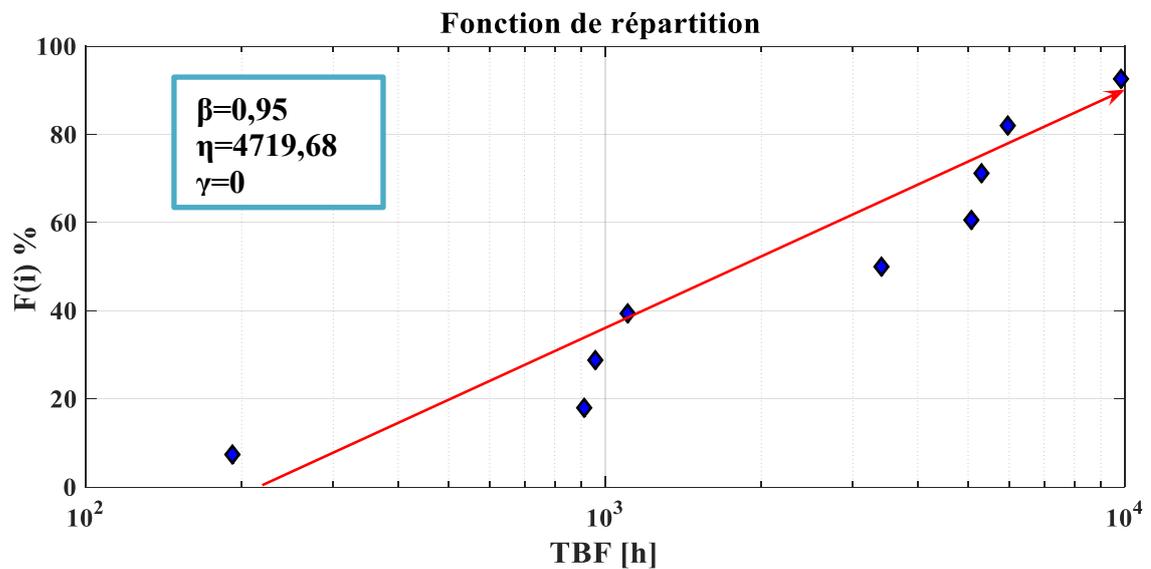
Le tableau suivant comporte les TBF classés par ordre croissant, et les F(i) calculés par la méthode des ranges médians $F(i) = \frac{\sum ni - 0.3}{N + 0.4}$ (dans notre cas $N = 9 \leq 20$) et on trace la courbe de WeiBull :

Tableau IV.3: Fonction de répartition réelle :

N°	TBF(h)	$\sum ni$	F(i)	F(i) %
01	192	01	0.0745	7.45
02	912	02	0.1809	18.09
03	960	03	0.2872	28.72
04	1104	04	0.3936	39.36
05	3408	05	0.5	50
06	5064	06	0.6064	60.64
07	5304	07	0.7128	71.28
08	5952	08	0.8191	81.91
09	9840	09	0.9255	92.55

A partir de papier de weibull On déduire les paramètres: β , η et γ .

La courbe :



Papier de WeiBull .sur logiciel Matlab

IV .4.2. Exploitation les paramètres de WEIBULL :

IV .4.2.1. Le MTBF :

Le tableau de MTBF donne A= 1,0234, B=1,07769 (voir annexe tab.1).

$$MTBF=A. \eta + \gamma$$

$$MTBF=1,0234 \times 4719,68 + 0$$

$$MTBF = 4830.124 \text{ h}$$

IV .4.2.2. La densité de probabilité en fonction de MTBF :

$$f(t = MTBF) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right] = 0.000074 = 0.0074 \%$$

IV .4.2.3. La fonction de réparation en fonction de MTBF :

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right]$$

$$F(t = MTBF) = 1 - \exp\left(\frac{4830.12}{4719.680}\right)^{0.975} = 0.64 = 64\%$$

IV .4.2.4. La fiabilité en fonction de MTBF :

$$R(t=MTBF) = 1 - F(t= MTBF) = 1-0,64 = 0,36$$

$$R(MTBF) = 36 \%$$

On remarque que la fiabilité de la turbine est faible.

IV .4.2.5. Le taux de défaillance en fonction de MTBF :

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

$$\lambda(t = MTBF) = \frac{0.975}{4719.68} \left(\frac{4830.12}{4719.68}\right)^{0.975-1} = 0.0002064 \text{ panne/heure}$$

IV.4.2.6. Calcul du temps souhaitable pour une intervention systématique :

$$R(t)=80\% \rightarrow t = ?$$

$$R(t) = \exp\left(-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right)$$

$$\ln R(t) = -\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta = \ln(0.8) \leftrightarrow -[\ln R(t)]^{1/\beta} = t/\eta \rightarrow t = \eta[\ln(1-R(t))]^{1/\beta}$$

$t_{sys} = 1013,43$ heures.

Pour garder la fiabilité de la turbine 80% il faut intervenir chaque temps systématique 1013,43 h.

IV .5. Étude de modèle de weibull :

IV .5.1. La fonction de la densité de probabilité :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right]$$

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

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

TBF(heure)	192	912	960	1104	3408	5064	5304	5952	9840
$f(t) \cdot 10^{-3}$	0,2141	0,1759	0,1739	0,1680	0,1005	0,0706	0,06717	0,0586	0,0261

IV .5.1.1. Courbe de la densité de la probabilité $f(t)$:

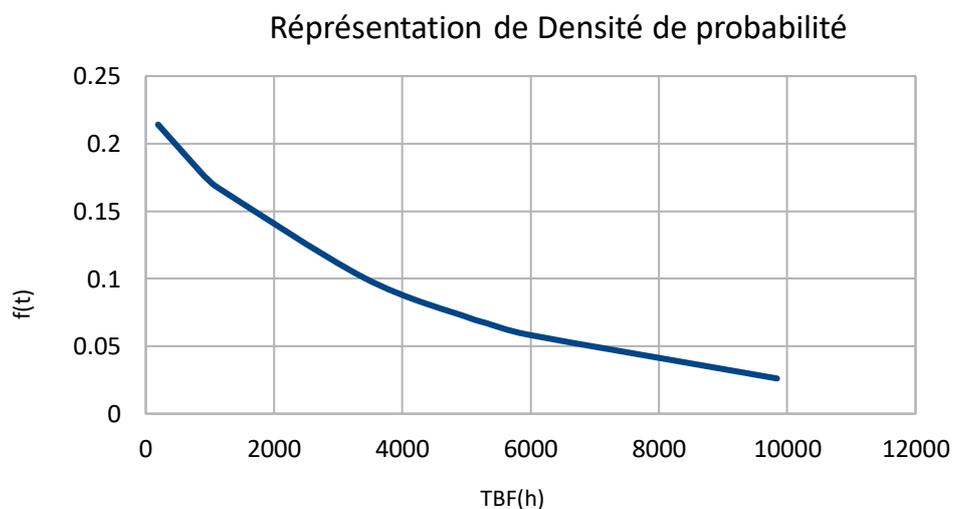


Figure IV.2: La Courbe Densité De Probabilité

IV.5.1.2. Analyse de la courbe :

D'après cette courbe on remarque que la fonction $f(t)$ (densité de probabilité) diminue avec le temps.

IV.5.2. Fonction de répartition $F(t)$:

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t - \gamma}{\eta}\right)^\beta\right]$$

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

TBF(h)	192	912	960	1104	3408	5064	5304	5952	9840
F(t)	0,0431	0.1823	0,1907	0,2153	0,5171	0,6573	0,6738	0,7145	0,8708

IV.5.2.1. Courbe fonction de répartition $F(t)$:

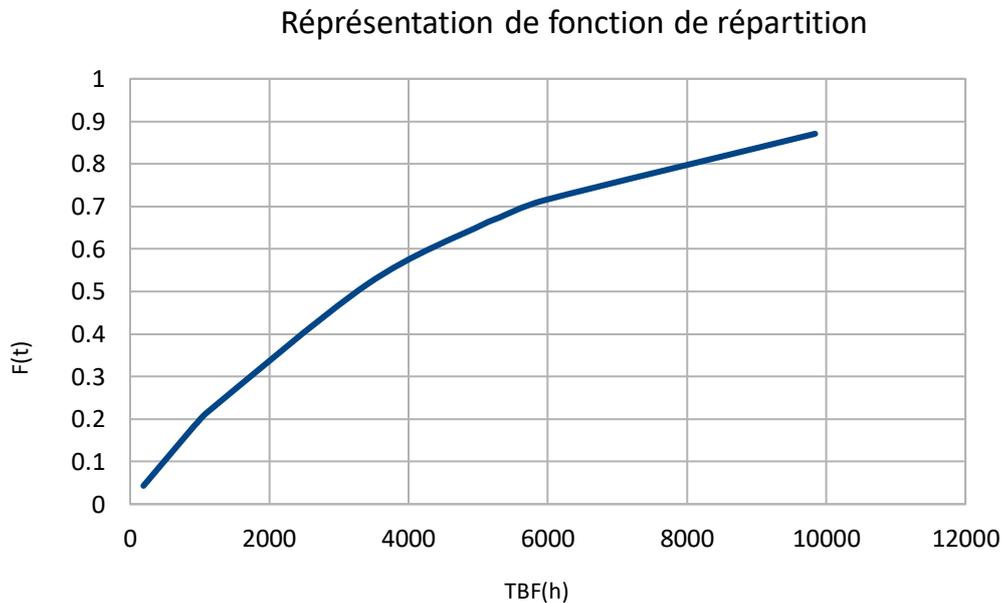


Figure IV.3: La Courbe De Fonction Répartition

IV.5.2.2. Analyse de la courbe :

La fonction de défaillance croissant en fonction de temps, et pour $t=MTBF$,

$$F(MTBF)=0,64=64\%$$

IV.5.3. La fiabilité :

La fonction fiabilité de celle de répartition: $R(t) = 1 - F(t)$, après calcul la fiabilité de la turbine aux temps $t = MTBF$, on déduit que la valeur n'est pas satisfaisante donc on peut dire que la turbine n'est pas fiable à $t = MTBF$

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right] \quad R(t = MTBF) = 0,36$$

Tableau IV.6: Calcul de la fiabilité :

TBF(h)	192	912	960	1104	3408	5064	5304	5952	9840
R(t)	0,9568	0,8176	0,8092	0,7846	0,4828	0,3426	0,3261	0,2854	0,1291

IV.5.3.1. Courbe de la fiabilité :

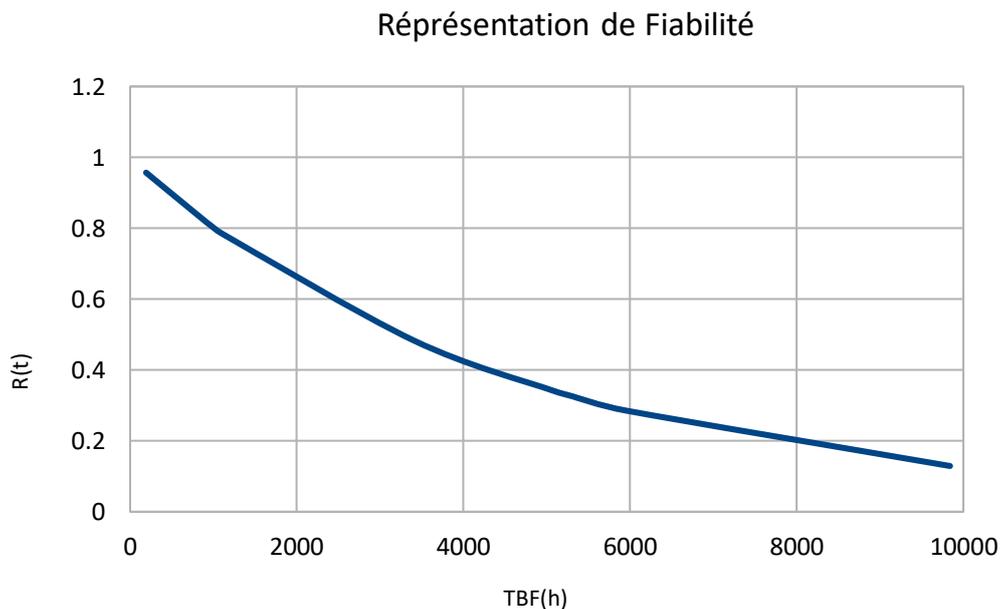


Figure IV.4: La Courbe De la Fonction Fiabilité

IV.5.3.2. Analyse de la courbe :

Le graphe décroissant en fonction de temps ce qui fait expliquer par le phénomène de dégradation comme par exemple décrochement. L'amélioration de la fiabilité de la turbine

passé obligatoirement par une analyse des défaillances avec une étude détaillée de leurs causes de leurs modes et de leurs conséquences.

IV.5.4. Le taux de défaillance :

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

Tableau IV.7: Calcul le taux de défaillance :

TBF(h)	192	912	960	1104	3408	5064	5304	5952	9840
$\lambda(t) * 10^{-3}$	0,2237	0,2152	0,2149	0,2142	0,2082	0,2062	0,2059	0,2053	0,2028

IV.5.4.1. Courbe du taux de défaillance :

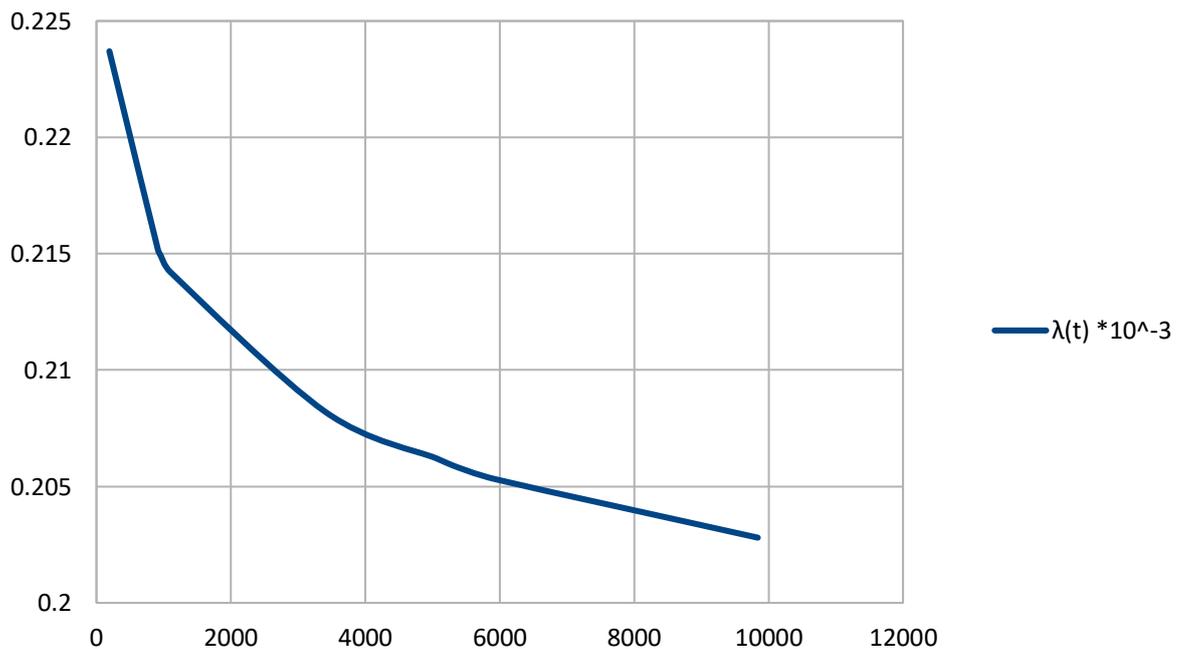


Figure IV.5: Le courbe taux de défaillance

IV.5.4.2. Analyse de la courbe :

Le taux de défaillance est décroissant en fonction de temps. Cette diminution est considérée normale c.-à-d. né pas rapide.

IV.6. Calcul la Maintenabilité de la turbine :

D'après l'historique des pannes de la turbine:

$$MTTR = \sum TR / N.$$

TR : temps de réparation.

N : nombre de panne.

$$MTTR = 296 / 9 = 32.88h \approx 33h.$$

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

Avec $\mu = 1/MTTR = 1/33 = 0,03030$ intervention / heure.

Tableau IV.8: La maintenabilité de la turbine :

T(h)	33	66	99	132	165	198	231	264	297
M(t)	0.6321	0.8646	0.9502	0.9817	0.9933	0.9975	0.9991	0.9997	0.9999

IV.6.1. Courbe de la fonction de Maintenabilité :

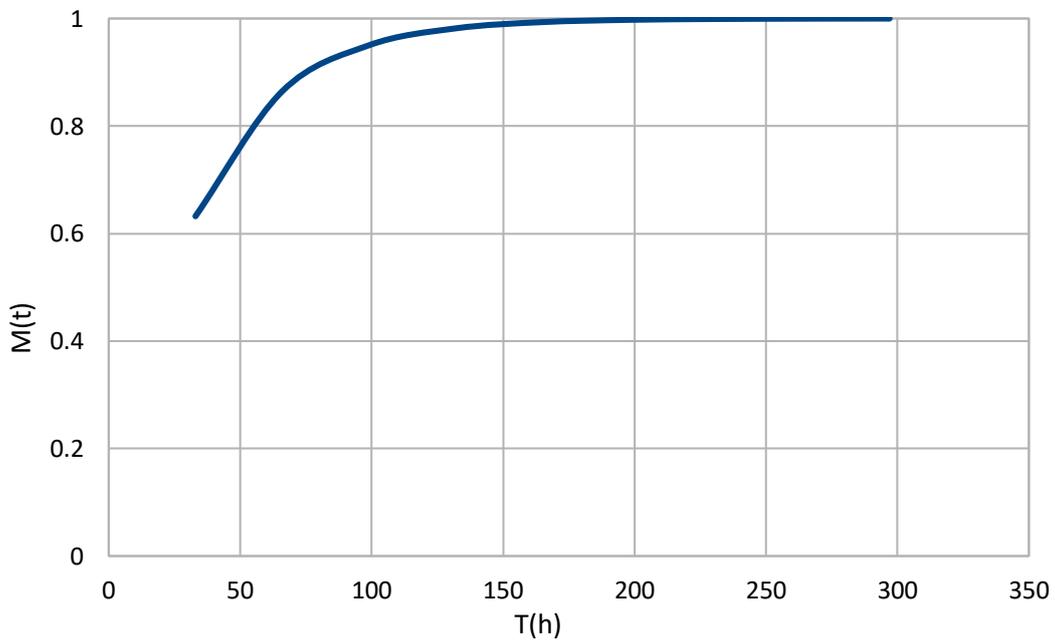


Figure IV.6 : La Courbe de Maintenabilité

IV.6.2. Analyse de la courbe :

La Maintenabilité est croissant en fonction de temps à l'instant T=150heurs, la maintenable 99,99%.

IV.7. Calcul la disponibilité de la turbine :

IV.7.1. Disponibilité intrinsèque au asymptotique :

$$Di = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} = \frac{4830.12}{4830.12+33} = 0.9932$$

IV.7.2. Disponibilité instantané D(t):

$$D(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \left(1 + \frac{\lambda}{\mu} \exp(-(\lambda + \mu)t)\right)$$

$$MTBF = 1/\lambda \rightarrow \lambda = 1/MTBF = 1/4830,12 = 0,000207$$

$$MTTR = 1/\mu \rightarrow \mu = 1/MTTR = 1/33 = 0.03030$$

$$\lambda + \mu = 0,000207+0.03030= 0.030507$$

Tableau IV.9: Tableau de disponibilité instantané :

T(h)	20	40	60	80	100	120	140	160	180
D(t)	0,9969	0,9952	0,9943	0,9938	0,9935	0,9934	0,9933	0,9932	0,9932

IV .7.2.1. Courbe de la fonction de Disponibilité :

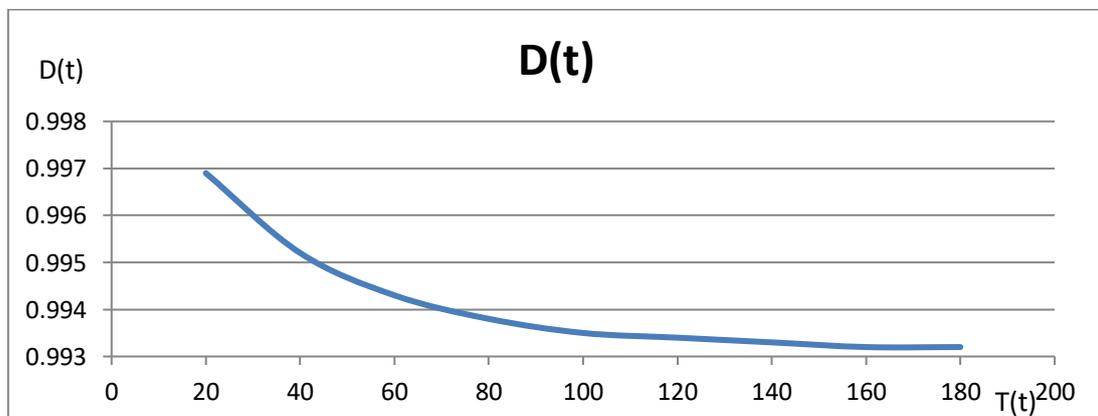


Figure IV.7: La Courbe de disponibilité instantanée

IV.7.2.2. Analyse de la courbe :

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

IV.8. Analyse de L'AMDEC :

IV .8.1 : Décomposition fonctionnellement le système :

L'AMDEC est une méthode de réflexion créative qui repose essentiellement sur la décomposition fonctionnelle de système en éléments simples jusqu'au niveau des composants les plus élémentaires. On a décomposé le système en trois sous-systèmes. Chaque sous-système est décomposé jusqu'aux organes les plus élémentaires.

IV .8.5 : Analyse du système :

Dans un premier lieu on a décomposé fonctionnellement le système

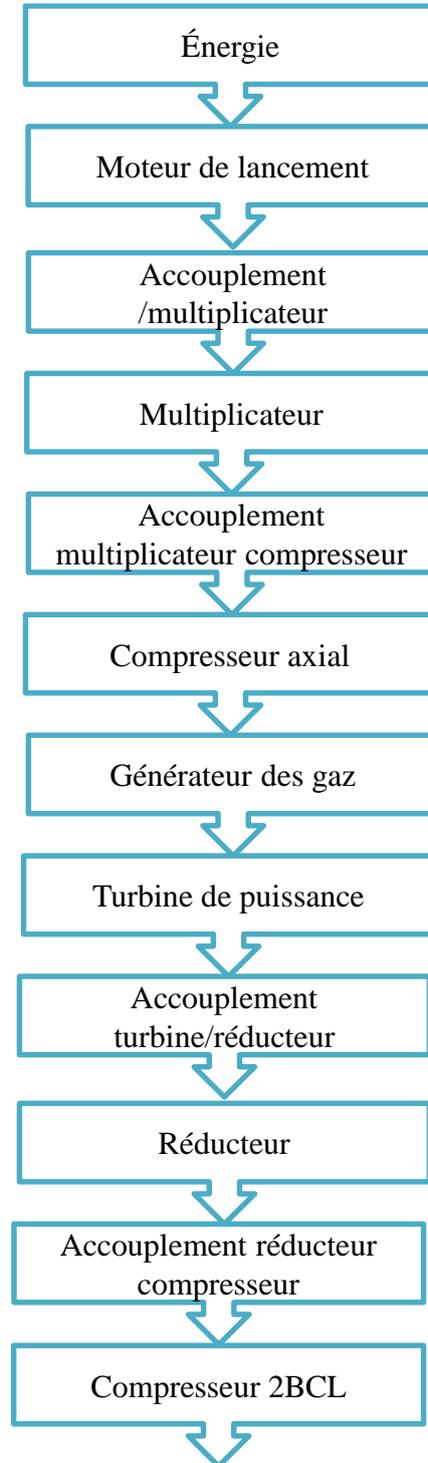
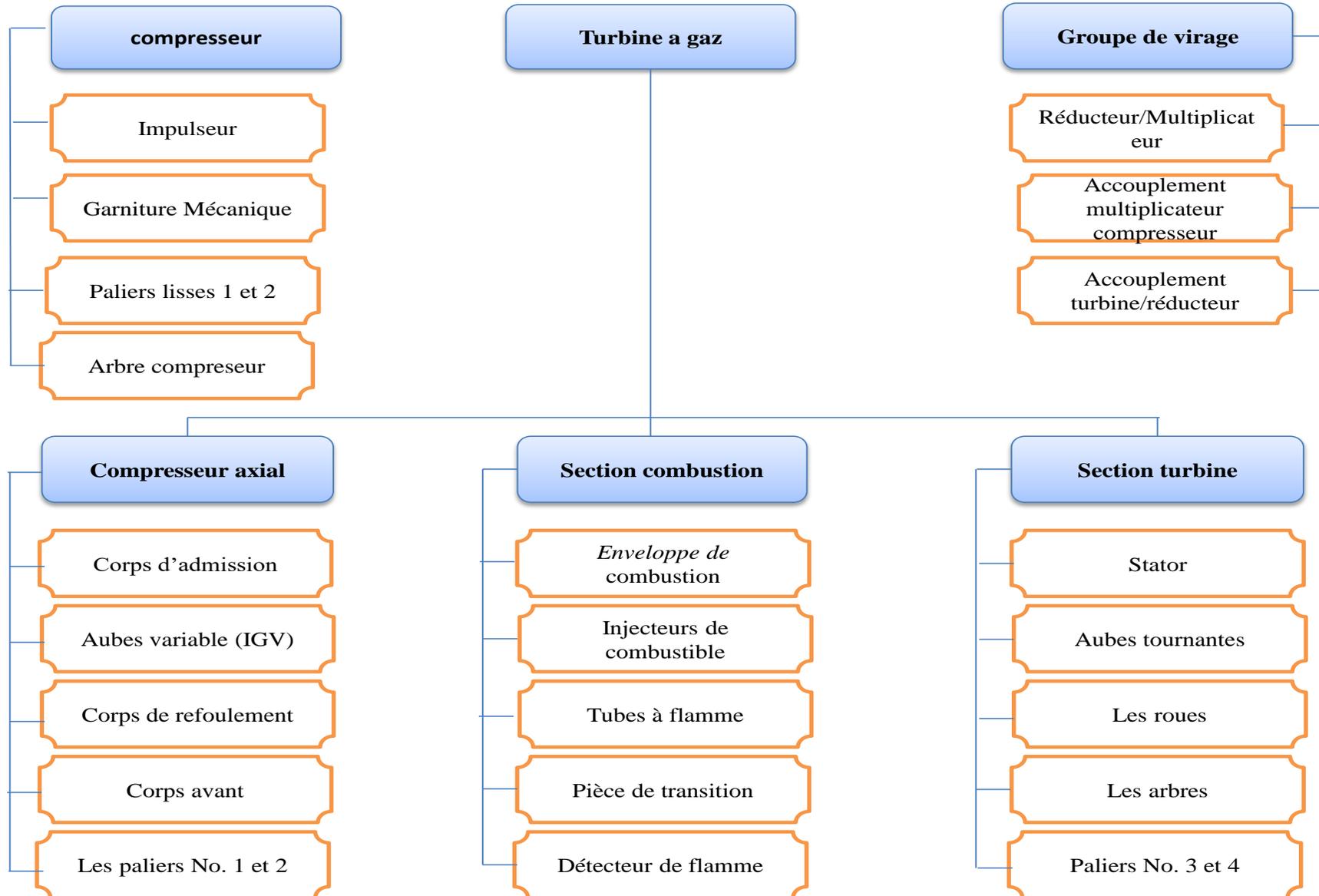


Figure IV.8 : Décomposition fonctionnelle du système



Chapitre IV : analyse de la sûreté de fonctionnement de la turbine à gaz

Date d'analyse 25/003/2019	Ensemble : turbine à gaz Sous ensemble 1: Groupe de virage.								Page : 1	
Elément	Fonction	Mode de défaillance	causes	effets	Détection	F	D	G	C	Actions correctives
Accouplement multiplicateur compresseur	Transmettre la puissance du moteur lancement au compresseur	-Rupture -Echauffement	- Desserrage des vis - d'assemblage - Surcharge - Fatigue - Désalignement	- Mauvaise transmission - Usure des paliers - Usure des dents d'engrenages - Dégradation de fonctionnement de compresseur - Vibrations	- Visuel - Echauffement	3	1	3	9	- Réalignement - Serrage de système de fixation - changement d'accouplement
Accouplement turbine/ Réducteur	Transmettre la puissance de la turbine au réducteur	-Rupture -Echauffement	- Desserrage des vis - d'assemblage - Surcharge - Fatigue - Désalignement	- Mauvaise transmission - Usure des paliers - Usure des dents d'engrenages - Dégradation de fonctionnement de compresseur - Vibrations	- Visuel	3	1	3	9	- Réalignement - Serrage de système de fixation

Chapitre IV : analyse de la sûreté de fonctionnement de la turbine à gaz

Date d'analyse 25/003/2019	Ensemble : turbine à gaz Sous ensemble : Groupe de virage.									Page : 2
Elément	Fonction	Mode de défaillance	causes	effets	Détection	F	D	G	C	Actions correctives
Multiplicateur /réducteur	Multiplier et réduire le couple transmis et reçu	-Détérioration de dents -Endommagement des roulements	-Manque de lubrifiant -Fatigue -vibrations	-Vibrations -Mauvais fonctionnement	-Echauffement -Bruit - Centum VP	4	2	3	24	-Changement des roulements -Assurer une bonne Lubrification

Chapitre IV : analyse de la sûreté de fonctionnement de la turbine à gaz

Date d'analyse	Ensemble : turbine à gaz								Page : 3	
25/003/2019	Sous ensemble 2: Compresseur axial.									
Elément	Fonction	Mode de défaillance	causes	effets	Détection	F	D	G	C	Actions correctives
Rotor	Assurer le mouvement de rotation et comprimer l'air	- Usure - Rupture	- Fatigue - Mauvais graissage	Arrêt de Compresseur	- Centum VP	1	4	4	16	- Vérifier le système de graissage - Vérifier le rotor
Aubes du rotor	Assurer la force nécessaire pour comprimer l'air	- Corrosion - Erosion	- Mauvaise filtration d'air	- Vibration - Détériorations des aubes	- Faible débit d'air - Centum VP	2	4	4	32	- Redressement - Nettoyage ou changement de filtre - Changer les aubes
stator	Former la structure externe principale et supporter le rotor à l'endroit des paliers	- Déformation - Usure	- Fatigue	-Arrêt de compresseur	- Bruit - Centum VP	1	4	4	16	- Redressement - Vérifier le stator
Aubes alternative	Fixer le stator, assurer la rotation de rotor à profil aérodynamique	- Corrosion - Erosion	Mauvaise filtration d'air	- Vibration - Détériorations des aubes	- Bruit - Centum VP	2	3	4	24	- Redressement - Nettoyage ou changement de filtre - Changer les aubes

Chapitre IV : analyse de la sûreté de fonctionnement de la turbine à gaz

Date d'analyse 25/003/2019		Ensemble : turbine à gaz Sous ensemble 2: Compresseur axial.								Page : 4
Elément	Fonction	Mode de défaillance	causes	effets	Détection	F	D	G	C	Actions correctives
Aubes du stator	Guider l'air pour pénétrer dans les étages successifs du compresseur axial	- Déformation - Corrosion - Erosion	Mauvaise filtration d'air	- Vibration - Détériorations des aubes	-Bruit - Centum VP	1	4	4	16	- Redressement - Nettoyage ou changement de filtre - Changer les aubes
Corps d'admission	Diriger l'air de manière uniforme dans le compresseur	- Usure - Rupture	- Corrosion	-Mauvaise filtration d'air	Faible débit d'air	1	3	4	12	- Nettoyage ou changement de filtre -Changer les Corps d'admission
Aubes variable (IGV)	Permettre à la turbine d'accélérer rapidement et en douceur, cela avec des débits d'air variables	- Corrosion - Erosion	- Mauvaise filtration d'air - Mauvais fonctionnement de système hydraulique	Pompage de compresseur	- Centum VP	1	3	4	12	- Nettoyage ou changement de filtre -Vérifier le système à l'huile hydraulique

Chapitre IV : analyse de la sûreté de fonctionnement de la turbine à gaz

Date d'analyse 25/003/2019		Ensemble : turbine à gaz Sous ensemble 2: Compresseur axial.								Page : 5
Elément	Fonction	Mode de défaillance	causes	effets	Détection	F	D	G	C	Actions correctives
Corps avant	Transférer les charges des dix premiers étages du stator du compresseur et fixation les aubes du stator	- Cassure - Fissure	- Fatigue - Mauvaise conception	-Pompage de compresseur	- Centum VP	1	3	4	12	- Changement des corps avant - Nouvelle conception
Corps de refoulement	Equilibrer le pompage de compresseur, former les parois du diffuseur et relier le compresseur aux stators de la turbine de 1 ^{ère} étage (roue HP)	- Cassure - Fissure	- Fatigue - Mauvaise conception	-Pompage de compresseur	- Centum VP	1	3	3	9	- Changement des corps de Refoulement . - Nouvelle conception
Clavettes	Faire passer l'air dans un seul sens	- Usure - Colmatage	- Fatigue - Mauvais fonctionnement de filtre	Diminution de pression	Faible débit d'air	1	4	4	16	- Changement de clavettes
Cylindre externe	La continuation de corps du compresseur	Déformation	Pompage de compresseur	Mauvais fonctionnement	- Bruit - Centum VP	1	3	2	6	-Vérifier le système de Graissage
Cylindre intérieur	Entoure le rotor du compresseur	- Usure - Rupture	- Fatigue - Frottement	Vibration	- Bruit - Centum VP	1	4	2	8	-Changer le cylindre

Chapitre IV : analyse de la sûreté de fonctionnement de la turbine à gaz

Date d'analyse 25/003/2019	Ensemble : turbine à gaz Sous ensemble 2: Compresseur axial.								Page : 6	
Elément	Fonction	Mode de défaillance	causes	effets	Détection	F	D	G	C	Actions correctives
Les paliers No. 1 et 2	Soutienne le rotor du compresseur/turbine de haute pression et assurer le graissage	- Usure - Cassure	-Fatigue - Mauvais alignement - Mauvais graissage	- Vibration -Echauffement - Blocage de rotor HP	-Bruit - Centum VP	3	3	3	27	- Vérifier le système de graissage - Changement des paliers et Contrôler la qualité des nouveaux paliers.

Chapitre IV : analyse de la sûreté de fonctionnement de la turbine à gaz

Date d'analyse	Ensemble : turbine à gaz									Page : 7
25/003/2019	Sous ensemble 3: Section combustion.									
Elément	Fonction	Mode de défaillance	causes	effets	Détection	F	D	G	C	Actions correctives
Enveloppe de combustion	Renfermer les chambres de combustion + la pièce de transition et transférer l'air de refoulement	-Déformation - Usure	- Echauffement local - Fatigue	Mauvaise combustion	- Thermocouple - Centum VP	1	4	2	8	Redressement - Changer l'enveloppe de combustion
Chemise	Renfermer la chambre de combustion	- Gonflage - Distorsion	Aire brûlée ou surchauffée	Mauvaise combustion	Faible débit au refoulement	2	4	2	16	-Changer la chemise
Bougie d'allumage	Déclencher la combustion du mélange (fuel gaz +l'air de compresseur axial)	- Grippage - Erailure	Echauffement local	Pas de combustion	- Centum VP	1	3	1	3	- Nettoyage ou changement bougie d'allumage
Joint d'étanchéité	Joint d'étanchéité	Usure	Fatigue	Echauffement	- Fuite de gaz - Centum VP	2	4	3	24	-Changement des joints
Support de fixation	Fixation de tube à flamme	-Usure - Déformation	- Fatigue - Echauffement	Mauvaise combustion	Bruit	2	3	1	6	- Changement le support de fixation

Chapitre IV : analyse de la sûreté de fonctionnement de la turbine à gaz

Date d'analyse 25/003/2019		Ensemble : turbine à gaz Sous ensemble 3: Section combustion.								Page : 8
Elément	Fonction	Mode de défaillance	causes	effets	Détection	F	D	G	C	Actions correctives
Détecteur de flamme	Envoyer l'indication de présence ou absence de flamme au système de commande	Défectueux	- Chocs - Vibrations - Echauffement local	La turbine ne démarre pas	- Centum VP	1	4	4	16	- Changer le détecteur de flamme
Injecteurs de combustible	Emettre une quantité mesurée de fuel gaz dans la chemise de combustion	- Grippage - Usure	- Fatigue - Echauffement local	Mauvaise combustion	Fuite de gaz	1	3	2	6	- Traitement de la tige - Remplacement l'injecteur de combustible
Tubes à flamme	Relier les 12 chambres de combustion et permette la propagation de la flamme	- Flambage - Usure	- Echauffement - Corrosion - Fatigue	Mauvaise combustion	- Thermocouple - Centum VP	2	4	4	32	-Changer les tubes à flamme
Pièce de transition	Transformer les gaz chauds à la directrice de 1 ^{ère} étage (roue HP)	- Fissures - Gonflage	- Fatigue - Mauvaise conception	- Echauffement local - Basse vitesse HP	- Thermocouple - Centum VP	2	3	3	18	- Changement la pièce de transition

Chapitre IV : analyse de la sûreté de fonctionnement de la turbine à gaz

Date d'analyse	Ensemble : turbine à gaz								Page : 9	
25/003/2019	Sous ensemble 4: Section turbine.									
Elément	Fonction	Mode de défaillance	causes	effets	Détection	F	D	G	C	Actions correctives
Stator	Former la structure de la turbine à gaz	- Déformation - Usure	- Pompage de compresseur - Fatigue	Mauvais fonctionnement	- Bruit - Centum VP	1	4	2	8	-Redressement - Vérifier le stator
Directrice du premier étage	Diriger les gaz chauds vers les aubes de la roue HP	- Usure - Colmatage - Fissure	- Fatigue - Mauvais fonctionnement de filtre	Basse vitesse de la roue HP	- Centum VP	1	4	4	16	- Nettoyage ou changement de filtre - Changer la directrice du premier étage
Directrice du deuxième étage	Diriger les gaz chauds vers les aubes de la roue BP	- Usure - Colmatage - Fissure	- Fatigue - Mauvais fonctionnement de filtre	Basse vitesse de la roue BP	- Centum VP	1	4	4	16	- Nettoyage ou changement de filtre -Changer la directrice du deuxième étage
Segments	Assemblé l'injecteur dans une bague de blocage	- Usure - Rupture	- Fatigue - Echauffement	Vibration	- Centum VP	1	4	3	12	- Changement des segments
aubes tournantes	Former tuyère à angle variable pour commander la vitesse de la roue BP	- Corrosion - Rupture	- Mauvaise filtration de gaz combustible - Echauffement	Mauvais fonctionnement de la roue BP	- Centum VP	1	4	4	16	- Nettoyage ou changement de filtre - Changer les aubes tournantes

Chapitre IV : analyse de la sûreté de fonctionnement de la turbine à gaz

Date d'analyse 25/003/2019		Ensemble : turbine à gaz Sous ensemble 4: Section turbine.								Page : 10
Elément	Fonction	Mode de défaillance	causes	effets	Détection	F	D	G	C	Actions correctives
Rotor de la turbine HP	Actionner le compresseur axial et assurer le mouvement de rotation	- Usure - Rupture	- Fatigue - Mauvais graissage	Arrêt de Compresseur axial	- Centum VP	1	4	4	16	- Vérifier le système de graissage Vérifier le rotor
Rotor de la turbine BP	Commande la charge (compresseur centrifuge) et assurer le mouvement de rotation	- Usure - Rupture	- Fatigue - Mauvais graissage	Arrêt de Compresseur centrifuge	- Centum VP	1	4	4	16	- Vérifier le système de graissage Vérifier le rotor
Les roues	Renfermer les aubes, assurer la rotation des rotors et assurer l'équilibrage des rotors	- Usure - Rupture	- Fatigue - Mauvaise refroidissement	Pompage de Compresseur	- Bruit - Centum VP	1	4	2	8	- Vérifier le système de refroidissement -Changer les roues
les arbres	Former les rotors de Turbine (rotor HP, rotor BP/charge) et assurer l'accouplement	- Érosion - Fissure - Jeux du bout	- Mauvais graissage - Mauvais alignement	- Pompage de compresseur - Mauvais fonctionnement	- Bruit - Centum VP	1	4	3	12	- Vérifier le système de graissage et le système de refroidissement

Chapitre IV : analyse de la sûreté de fonctionnement de la turbine à gaz

Date d'analyse 25/003/2019		Ensemble : turbine à gaz Sous ensemble 4: Section turbine.								Page : 11
Elément	Fonction	Mode de défaillance	causes	effets	Détection	F	D	G	C	Actions correctives
Paliers No. 3 et 4	Soutiennent le rotor de basse pression/charge de turbine et assurer le graissage	- Usure - Cassure	- Fatigue - Vibration - Mauvais alignement	- Echauffement - Blocage de rotor BP	- Bruit - Centum VP	1	4	4	16	- Vérifier le système de graissage - Changement des paliers
Goujons	Assurer la fixation	Desserrage	Chocs	Vibration	Bruit	3	3	1	9	Serrage
Diaphragme	Séparer les deux étages de la turbine et former le couloir de passage de l'air de refroidissement les roues de la turbine	Déformation	- Fatigue - Mauvaise refroidissement	- Echauffement - Détériorations des roues	- Bruit - Centum VP	1	4	2	8	- Vérifier le système de refroidissement - Changer le diaphragme

Chapitre IV : analyse de la sûreté de fonctionnement de la turbine à gaz

Date d'analyse 25/003/2019		Ensemble : turbine à gaz Sous ensemble 5: pompe de centrifuge								Page : 12
Elément	Fonction	Mode de défaillance	causes	effets	Détection	F	D	G	C	Actions correctives
impulseur	Comprimer le fluide Augmenter le débit	-usure par Cavitation	-Bulles d'aire -Débit insuffisant au niveau de l'aspiration	-Ouverture vanne recyclage -Endommagement de la roue	- Bruit - Centum VP	1	3	4	12	-Installation des pompes boosters avant l'aspiration de la pompe principale -Equilibrage -Remplacement de l'impulseur endommagé
Arbre pompe	-Entrainer l'implseur	- Déformation -Usure	-Balourd	-Flexion	-Augmentation des vibrations	1	3	4	12	Equilibrage
Garniture	-Etanchéité	Fuite	-Mauvais serrage -Fissure	-Pert de débit et de pression	-Visuel	2	1	3	6	-Serrage -Changement
Paliers lisses 1 et 2	-Support et guidage de l'arbre	-Usure	-Détérioration des bagues d'usure -Mauvaise lubrification	-Vibrations	-Augmentation de vibration et température palies	2	4	3	24	-Augmentation de vibration et température palies

Tableau IV .10 : Analyse AMDEC de la turbine à gaz.

IV .8.6.1 Interprétation des résultats de l'analyse AMDEC :

Ce travail a montré la faisabilité de conduire une méthode d'analyse dysfonctionnelle. Cette approche est basée sur l'analyse AMDEC. La mise en œuvre d'une telle démarche montre sa contribution dans la réduction des défaillances. En effet elle permet :

- de définir les exigences de sûreté de fonctionnement de manière précise,
- d'identifier les fonctions critiques pour le système,
- de définir la politique de maintenance pour le système et ses composants.

On a choisi la valeur 12 comme seuil de criticité. Les éléments dont la criticité supérieur ou est égale à 16 sont regroupés dans le tableau. C'est sur ces éléments qu'il faut agir en priorité en engageant des recommandations appropriées.

NOTE :

Centum VP : c'est un DCS propre à Yokogawa (Distributed Control System), il contient des automates avec des modules d'entrées/sorties avec des HIS (Human Interface Station) et il détecte les d'efférents anomalies de la turbine à gaz comme (la chute de pression, manque de huile l'lubrification, détecteur de fumer, défaut de sonde etc...).

Tableau IV 11 : Actions de maintenance à engager :

Catégorie	Elément	Criticité	Actions correctives à engager
1	Aubes du rotor	32	Remise en cause complète de la conception
	Tubes à flamme	32	
	Les paliers No. 1 et 2	27	
	Multiplicateur /réducteur	24	
	Aubes alternative	24	
	Joint d'étanchéité	24	
	Paliers lisses 1 et 2	24	
	Pièce de transition	18	
	Rotor	16	
	Stator	16	

Chapitre IV: étude de FMD de la turbine à gaz

2	Aubes du stator	16	Maintenance Préventive Systématique
	Clavettes	16	
	Chemise	16	
	Détecteur de flamme	16	
	Directrice du premier étage	16	
	Directrice du deuxième étage	16	
	aubes tournantes	16	
	Rotor de la turbine HP	16	
	Rotor de la turbine BP	16	
	Paliers No. 3 et 4	16	
	Aubes variable (IGV)	12	
	Corps avant	12	
	Segments	12	
	Les arbres	12	
	Impulseur	12	
	Arbre pompe	12	
Corps d'admission	12		
3	Accouplement multiplicateur compresseur	09	Appliquer la maintenance corrective
	Accouplement turbine/réducteur	09	
	Corps de refoulement	09	
	Goujons	09	
	Cylindre intérieur	08	
	Stator	08	
	Les roues	08	
	Diaphragme	08	
	Enveloppe de combustion	06	
	Cylindre externe	06	
	Injecteurs de combustible	06	
	Support de fixation	06	
Garniture	03		

IV .8.6.2 Actions d'amélioration :

Pour l'amélioration de la disponibilité de la Turbine à gaz MS5002C, il faut concentrer les actions de maintenance sur la 1ère catégorie (causes ayant une criticité supérieure à 16) en appliquant une maintenance préventive systématique (contrôle, nettoyage, lubrification, ...) et maintenance conditionnelle (capteurs,...).

Pour la 2ème catégorie (causes ayant une criticité entre 12 et 16) il faut appliquer une maintenance systématique (changement des équipements périodiquement). Pour le reste d'équipements (causes ayant une criticité inférieure à 9) on peut appliquer une maintenance corrective.

Conclusion générale :

L'évaluation de performance des systèmes industriels est un élément essentiel du pilotage des entreprises

L'étude de l' FMD a mis en valeur l'état de la Turbine à gaz MS5002C. En effet, les résultats trouvés dévoilent que cette Turbine est en état de vieillesse.

L'analyse des modes de défaillance de leurs effets et leur criticité (AMDEC) est une approche qualitative pour l'études et optimisation de la fiabilité et la sûreté dans différents domaines.

Dans cette partie nous avons déroulé l'analyse AMDEC suivant les étapes qui nous avons citées au début, ces étapes ont exigé de collecter des données sur l'équipement étudié. Pour obtenir des informations et dérouler cette analyse, nous avons basé sur l'expérience des travailleurs et leurs documentations existantes.

A partir de ces informations que nous avons obtenue et la maîtrise de l'enchaînement de six paramètres (fonction, mode, cause, effet de défaillance, détection, criticité). Nous avons réalisé un bilan qui regroupe beaucoup d'information sur la défaillance et son mode, et grâce aux résultats obtenus, nous avons recensées les défaillances les plus critiques

Références bibliographiques

- [1]. ASBAI Samir, Evaluation des caractéristiques de la sûreté de fonctionnement d'une turbine à gaz, Master en Génie Mécanique, Alger, Université de A.MIRA Bejaia, 2017, 73p
- [2]. HALIMI Djamel, Contribution à l'amélioration de la maintenance préventive des machines dynamiques dans l'industrie des hydrocarbures, Génie Mécanique, Alger, Université, M'HAMED Bougara-Boumerdes, Faculté des hydrocarbures et de la chimie, 2014, 115p
- [3]. BELAZIZ Takai Eddine et BENLAHBIB Bilal, Bureau de méthodes de maintenance, Génie Mécanique, Alger, Université KASDI MERBAH Ouargla, 2016, 33p
- [4]. BELLAOUAR Ahmed et BELEULMI Salima, Fiabilité Maintenabilité Disponibilité, Algèr, Univerité Constantine1, Département Génie des Transports, 2014, 106p
- [5]. Enrique Castillo, Roberto Mínguez, Carmen Castillo, Sensitivity analysis in optimization and reliability problems. Reliability Engineering & System Safety 2008; 93(12): 1788-1800.
- [6]. Fleurquin G, Riane F, Roland B, Dehombreux P, Hou G,. Optimain :Plate forme d'évaluation de strategie de maintenance des systems complexes. MOSIM'06, 2006
- [7]. Devarun Ghosh, Sandip Roy, Maintenance optimization using probabilistic costbenefit analysis. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 2009; 22(4): 403-407.
- [8]. Hafaifa Ahmed, Attia Daoudi and Kouider Laroussi, Application of fuzzy diagnosis in fault detection and isolation to the compression system protection. Control and Intelligent Systems ACTA Press, July 2011, vol. 39, no. 3, pp. 151-158.
- [9]. [AFNOR.1998] AFNOR. Recueil des normes françaises X 06, X 50, X 60, AFNOR, 1998.
- [10]. [TAHAN, 1998] A. Tahan, C. Valderrama, H. Duran, "TPM – Total Productive Maintenance".

1^{ère} édition : 1 octobre 1998

- [11]. [KAFFEL, 2001] H. Kaffel, "La maintenance distribuée : concept, évaluation et mise en oeuvre". Thèse présentée à la faculté de l'étude supérieure de l'université Laval pour l'obtention du grade de philosophiae doctor (ph.d) département de génie mécanique faculté des sciences et de génie université Laval Québec octobre 2001.
- [12]. [BOITTEL, 1987] D. BOTTEL, C. HAZARD, Guide de la maintenance. Edition NATHAN 1987.
- [13]. [ZEGHLOUL, 2004] A. ZEGHLOUL, Licence Professionnelle Hydraulique et Commandes Associées". Année 2003-2004. "Maintenance Industrielle
- [14]. METALLAOUI Nassim, Étude thermodynamique de la turbine à gaz MS7001EA au niveau du complexe GNL1K de Skikda, Energétique et Environnement, Alger, Université BADJI MOKHTAR Annaba, 2017, 71p
- [15]. AFNOR. Recueil des normes françaises X 06, X 50, X 60, AFNOR, 1998.
- [16]. Norme AFNOR X 60-510 de décembre 1986
- [17]. David J. Taylor Olivier Crabos,2003, "GE Power Systems Gas Turbine and Combined Cycle Products Technology - Experience - Innovation", Gas turbine and Combined Cycle - GE Power Systems 2003.
- [18]. André LALLEMAND, 1195, "Production d'énergie électrique par centrales thermiques", Techniques de l'Ingénieur, D 4 002, pp.1-11.
- [19]. TOBAL Abdelmalek, Généralités et les opérations de maintenance de la Turbine À Gaz MS5002C, Génie Mécanique, Alger, INSTITUT ALGERIEN DU PETROLE, Ecole d'Arzew, 2015, 60p
- [20]. NF X60-000, Maintenance industrielle - Fonction maintenance, AFNOR, 3ème Tirage, Mai 2002.
- [21]. AFNOR, "Comment Réussir votre Maintenance", La collection des Guides de l'Utilisateur, 1999.
- [22]. M. KADI, Etude et amélioration FMD d'une motopompe centrifuge, Mémoire de master professionnel, Université de Ouargla, (2014).
- [23]. Documentation Sonatrach-Organisation Ourhoud

Sommaire :

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale

Chapitre I : Présentation l'organisation Ourhoud

I .1 Présentation l'organisation Ourhoud.....	3
I .2 Présentation du champ Ourhoud	4
I .2.1 Generalities sur le champ.....	4
I. 2.2 Répartition du centre de production et bases de vie	5
I.2.3 Composition du Champ	6
I .2.5 Système gaz lift	7
I .2.6 Système d'injection d'eau	7
I .2.7.1 Compresseur de tête de colonne: «Overhead»	8
I .2.7.2 Système recompression	8
I .2.7.3 Déshydrateur.....	8
I .2.7.4 Système compresseur booster.....	8
I .2.7.5 Système injection du gaz	9
I .2.8 Les types de la maintenance effectués par le service mécanique	10

Chapitre II : Généralité sur la maintenance et FMD

II.1. Introduction	11
II.2. Définition de la maintenance.	11
II.3. Les différentes méthodes de maintenance	12
II.3.1. La maintenance corrective	13
II.3.1.1. Définition	13
II.3.1.2 Types d'interventions	13
II.3.2. La maintenance préventive	13
II.3.2.1. Définition	13

II.3.2.2 La maintenance systématique	14
II.3.2.3. La maintenance conditionnelle	15
II.3.2.4. La maintenance prédictive ou prévisionnelle	16
II.3.2.5 But de la maintenance préventive	16
II.4. Objectifs des programmes de maintenance.....	17
II.5. Fiabilité, maintenabilité et disponibilité (FMD) des systèmes	18
II.5.1. Introduction	18
II.5.1.1 Définitions de la Fiabilité	19
II.5.1.2. Disponibilité	19
II.5.1.3 Maintenabilité	19
II 5.1.4 Sécurité	19
II.5.2. Les indicateurs opérationnels de FMD	20
II.5.3. La fiabilité	20
II.5.3.1 Différents types de fiabilité	20
II.5.3.2 Les indicateurs de fiabilité	21
II.5.4 Les lois de Fiabilité	24
II.5.4.1 Les principales lois de probabilité utilisées en fiabilité	24
II.5.5 Lois usuelles de la fiabilité	24
II.5.6 Diagramme de fiabilité	26
II.5.6.1 Fiabilité de système constitué de plusieurs composants	27
II.6. Maintenabilité du matériel	29
II.6.1. Définition	29
II.6.2. Temps Techniques de Réparation TTR	29
II.6.3. Les critères de maintenabilité	30
II.6.4. Les indicateurs de maintenabilité	30
II.6.5. Expressions mathématiques.....	31
II.7.1. Introduction.....	31
II.7. La disponibilité	31
II.7.2. Différente formes de disponibilité	32

II.7.2.1. Disponibilité moyenne	32
II.7.2.2. Disponibilité intrinsèque	33
II.7.2.3. Disponibilité opérationnelle	33
II.8. Analyse de L'AMDEC	33
II.8.1 : définition de l'AMDEC	33
II.8. 2 : BUT DE L'ANALYSE AMDEC	33
II .8.3 : DEROULEMENT DE LA METHODE	33
II .8.4 : AMDEC appliquée sur la turbine à gaz	34
II .8.5.1 : L'indice de criticité C	34
Chapitre III : Généralité sur la turbine à gaz	
III 1. Historique de la turbine à gaz	36
III 2. Définition.....	36
III 3.1. Par le mode de construction	37
III 3. Classification des turbines à gaz	37
III 3.2. Par le mode de travail	39
III 3.3. Par le mode de fonctionnement thermodynamique	40
III 4. Principe de fonctionnement de la turbine à gaz.....	40
III 5. Caractéristiques techniques et de fonctionnement pour la turbine à gaz MS5002C...	41
III 5.1.Caractéristiques principales de fonctionnement de la turbine MS5002 C.....	42
III 5.2. Les éléments principaux de la turbine	42
III 5.2.1. Le compresseur d'air	43
III 5.2.2. La chambre de combustion	43
III 5.2.3. La caisse de la turbine.....	44
III 6. Principale défaillance d'une turbine à gaz	45
III 7. maintenance appliquée sur les turbines à gaz	45
III 7.1. La maintenance systématique	45
III 7.1.1. Une inspection du système combustion	45
III 7.1.2. Inspections de la veine des gaz chauds	45
III 7.1.3. Révision générale.....	46

III 7.2. La maintenance conditionnelle	46
Chapitre IV: Étude de FMD de la turbine à gaz	
IV .1. Introduction	47
IV .2. Exploitation de l'historique	47
IV.3. L'application Pratique des méthodes d'analyse	48
IV .3.1. Méthodes d'analyse prévisionnelle « ABC (Pareto)».....	48
IV .4. Calcul les paramètres de weibull	50
IV .4.2. Exploitation les paramètres de WEIBULL	51
IV .4.2.1. Le MTBF	51
IV .4.2.2. La densité de probabilité en fonction de MTBF	51
IV .4.2.3. La fonction de réparation en fonction de MTBF.....	51
IV .4.2.4. La fiabilité en fonction de MTBF	51
IV .4.2.5. Le taux de défaillance en fonction de MTBF	51
IV.4.2.6. Calcul du temps souhaitable pour une intervention systématique	51
IV .5. Étude de modèle de weibull	52
IV .5.1. La fonction de la densité de probabilité	52
IV .5.1.1. Courbe de la densité de la probabilité $f(t)$	52
IV.5.2. Fonction de répartition $F(t)$	53
IV.5.2.1. Courbe fonction de répartition $F(t)$	53
IV.5.3. La fiabilité	54
IV.5.3.1. Courbe de la fiabilité	54
IV.5.4. Le taux de défaillance.	55
IV.5.4.1. Courbe du taux de défaillance	55
IV.6. Calcul la Maintenabilité de la turbine	55
IV.6.1. Courbe de la fonction de Maintenabilité	56
IV.7. Calcul la disponibilité de la turbine	57
IV.7.1. Disponibilité intrinsèque au asymptotique	57
IV.7.2. Disponibilité instantané $D(t)$	57
IV .7.2.1. Courbe de la fonction de Disponibilité	57

IV.8.Analyse de L'AMDEC	58
IV .8.1 : Décomposition fonctionnellement le système	58
IV .8.5 : Analyse du système	59
IV .8.6.1 Interprétation des résultats de l'analyse AMDEC	73
IV .8.6.2 Actions d'amélioration	75
Conclusion générale	76

β	A	B	β	A	B	β	A	B
0,2	120	1 901	1,5	0,9027	0,613	4	0,9064	0,254
0,25	24	199	1,55	0,8994	0,593	4,1	0,9077	0,249
0,3	92,625	50,08	1,6	0,8966	0,574	4,2	0,9086	0,244
0,35	5,291	19,98	1,65	0,8942	0,556	4,3	0,9102	0,239
0,4	33,234	10,44	1,7	0,8922	0,54	4,4	0,9146	0,235
0,45	24,686	6,46	1,75	0,8906	0,525	4,5	0,9125	0,23
0,5	2	4,47	1,8	0,8893	0,511	4,6	0,9137	0,226
0,55	17,024	3,35	1,85	0,8882	0,498	4,7	0,9149	0,222
0,6	1,546	2,65	1,9	0,8874	0,486	4,8	0,916	0,218
0,65	13,663	2,18	1,95	0,8867	0,474	4,9	0,9171	0,214
0,7	12,638	1,85	2	0,8862	0,463	5	0,9162	0,21
0,75	11,906	1,61	2,1	0,8857	0,443	5,1	0,9192	0,207
0,8	1,133	1,43	2,2	0,8856	0,425	5,2	0,9202	0,203
0,85	1,088	1,29	2,3	0,8859	0,409	5,3	0,9213	0,2
0,9	10,522	1,17	2,4	0,8865	0,393	5,4	0,9222	0,197
0,95	1,0234	1,08	2,5	0,8873	0,38	5,5	0,9232	0,194
1	1	1	2,6	0,8882	0,367	5,6	0,9241	0,191
1,05	0,9803	0,934	2,7	0,8893	0,355	5,7	0,9251	0,186
1,1	0,9649	0,878	2,8	0,8905	0,344	5,8	0,926	0,165
1,15	0,9517	0,83	2,9	0,8919	0,334	5,9	0,9269	0,183
1,2	0,9407	0,787	3	0,893	0,316	6	0,9277	0,18
1,25	0,99314	0,75	3,1	0,8943	0,325	6,1	0,9266	0,177
1,3	0,9236	0,716	3,2	0,8957	0,307	6,2	0,9294	0,175
1,35	0,917	0,667	3,3	0,897	0,299	6,3	0,9302	0,172
1,4	0,9114	0,66	3,4	0,8984	0,292	6,4	0,931	0,17
1,45	0,9067	0,635	3,5	0,8997	0,285	6,5	0,9316	0,168
1,5	0,9027	0,613	3,6	0,9011	0,278	6,6	0,9325	0,166
1,55	0,8994	0,593	3,7	0,9025	0,272	6,7	0,9335	0,163
1,6	0,8966	0,574	3,8	0,9083	0,266	6,8	0,934	0,161
1,65	0,8942	0,556	3,9	0,9051	0,26	6,9	0,9347	0,15

Chapitre

I

Chapitre

II

Chapitre

III

Chapitre

IV

Liste des abréviations

Abréviation	Signification
HP	haut pression
BP	bas pression
TBF	Temps de bon fonctionnement
$R(t)$	Fonction de fiabilité
$F(t)$	Fonction de défaillance
$f(t)$	Densité de probabilité
MTTR	Moyenne de temps de réparation
MTBF	Moyenne de temps de bon fonctionnement
$D(t)$	Fonction de Disponibilité
$\lambda(t)$	Taux de défaillance
μ	Taux de réparation
γ	Paramètre de position
η	Paramètre d'échelle
β	Paramètre de forme
$M(t)$	fonction de maintenabilité

Liste des figures

Figure I .1 : partenariat avec Sonatrach.....	3
Figure I .2 : Les pourcentages de chaque société.....	4
Figure I .3 : position géographique.....	4
Figure I .4 : Répartition du centre de production.....	5
Figure I .5: Arrangement piping du Slug catcher.....	6
Figure I.6 : Les différents systèmes de traitement dans le CPF.....	7
Figure I .7 : L’organigramme général de l’établissement.....	9
Figure I.8 :Organigramme du service mécanique.....	9
Figure II.1 : les différentes formes de maintenance.....	12
Figure II.2 : Structure de la maintenance conditionnelle.....	16
Figure II.3 : Objectifs de la maintenance.....	17
Figure II.4 : Les états successifs que peut prendre un système réparable.....	20
Figure II.5 : la courbe baignoire d’un système.....	22
Figure II.6 : présentation des courbes de taux de panne des différents équipements....	23
Figure II.7: présentation de fonction de fiabilité.....	25
Figure II.8 : exemple de diagramme de fiabilité.....	27
Figure II.9 : diagramme de fiabilité d’un système constitué de N éléments en série.....	27
Figure II.10 : diagramme de fiabilité d’un système constitué de N éléments en parallèle.....	28
Figure II.11 : la variation de disponibilité d’un système	32
Figure III.1. Vue d’une turbine à gaz.....	37
Figure III.2 : Schéma d’une turbine à gaz mono-arbre.....	38
Figure III.3 : Schéma d’une turbine à gaz bi-arbre.....	39
Figure III.4 : Compresseur axial.....	43
Figure III.5 : Chambres de combustion.....	44
Figure III.6 : La caisse de la turbine.....	44
Figure IV.1: La Courbe d’ABC.....	49
Figure IV.2: La Courbe Densité De Probabilité.....	52
Figure IV.3: La Courbe De Fonction Répartition.....	53
Figure IV.4: La Courbe De la Fonction Fiabilité.....	54
Figure IV.5: Le courbe taux de défaillance.....	55
Figure IV.6 : La Courbe de Maintenabilité.....	56
Figure IV.7: La Courbe de disponibilité instantanée.....	57
Figure IV.8 : Décomposition fonctionnelle du système.....	59

Liste des tableaux

Tableau II.1 : niveaux de maintenance (norme AFNOR).....	18
Tableau II.2 : Les indicateurs de fiabilité.....	21
Tableau II.3 : Les indicateurs de maintenabilité.....	30
Tableau II.4 : Les indices de criticité.....	35
Tableau III.1 : Les caractéristiques techniques de la turbine.....	41
Tableau IV.1 : Dossier historique de la turbine MS5002C.....	48
Tableau IV.2 : L'analyse ABC (Pareto).....	48
Tableau IV.3: Fonction de répartition réelle.....	50
Tableau IV.4: Calcul la fonction de la densité de probabilité.....	52
Tableau IV.5: Fonction de répartition F(t).....	53
Tableau IV.6: Calcul de la fiabilité.....	54
Tableau IV.7: Calcul le taux de défaillance.....	55
Tableau IV.8: La maintenabilité de la turbine.....	56
Tableau IV.9: Tableau de disponibilité instantané.....	57
Tableau IV .10 : Analyse AMDEC de la turbine à gaz.....	72
Tableau IV 11 : Actions de maintenance à engager.....	74

