

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences appliquées

Département du génie Mécanique



Mémoire

MASTER PROFESSIONNEL

Domaine : Sciences techniques

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Maintenance Industrielle

Présenté par : HATHAT Abdelkader et DEBLAOUI Hicham

Thème

**Etude analytique FMD d'une
turbine DR990**

Soutenu publiquement

Le : 07/06/2015

❖	Ameur Toufik	Président	UKM Ouargla
❖	Karek Rabia	Encadreur/rapporteur	UKM Ouargla
❖	Guebailia Moussa	Examineur	UKM Ouargla

Année Universitaire : 2014/2015

Remerciements

*Toute la Gratitude, tout d'abord à Dieu qui nous a donné la
force Pour terminer ce modeste travail.*

*Toutes nos infinies gratitudes à notre promoteur, Monsieur
KAREK pour son encadrement et ses aides précieuses.*

*Nous remercions aussi les membres de jury qui nous ont fait
l'honneur d'accepter le jugement de notre travail.*

*Notre sincère reconnaissance à nos enseignants du
département: Génie mécanique.*

*Nos remerciements s'adressent aussi, à tous les travailleurs de
la région de Haoud Berkaoui.*

*Enfin nous remercions tous ceux qui ont contribués de près
ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail, trouvent ici
l'expression de notre profondes gratitudes et respects.*

Abdelkader. Hicham

Dédicace

*Au nom d'Allah, le Tout Miséricordieux, le Très
Miséricordieux*

*Tout d'abord je tiens à remercier le tout puissant de
m'avoir donné le courage et la patience pour arriver à ce
stade afin de réaliser ce travail que je dédie :*

A mes très chers parents : ma mère et mon père

*A mes chers frères lequel je souhaite son près retour et le
bonheur dans sa vie.*

A mes précieuses sœurs

A toute la famille HATHAT.

A tous mes amis partout et en particuliers

*Et sans doute, à mes très chers amis à l'Université
d'Ouargla*

A la fin je dédie très chaleureusement

** Mr: karek **

Abdelkader HATHAT



Dédicace

J'ai le grand honneur de dédier ce modeste travail :

*A ceux qui m'ont encouragé et soutenu moralement et
matériellement pendant les moments plus difficiles*

Durant ma vie.

*A ma très chère mère, qui me donne toujours l'espoir de vivre
et qui n'a jamais cessé de prier pour moi*

A mon très cher père

*A mes très chers frères : Mohammed, Bilal, Kemal, Hamza
Abd elhafid*

A mes très cher sœur Houda

A toute ma grande famille : DEBLAOUI

*A mes très chers amis : Drisse, Hussain Yassine Hamza
Mohammed*

Et enfin a tous mes connaissances



TABLE DES MATIERES

Liste des figures	
liste des tableaux	
Résumé	
Introduction générale	01

Chapitre I : Généralité sur les turbines

I.1. Introduction	02
I.2. Présentation du site de HAUD BERKAOUI	02
I.2.1. Historique	02
I.2.2. Situation géographique	02
I.2.3. Les principaux champs et les unités de gaz de la région	04
I.2.4. Activités et Développement de la région Haoud Berkaoui	05
I.2.5. L'organisation et fonctionnement de la division maintenance	06
I.3. Historique de la turbine à gaz	07
I.4. Classification des turbines	08
I.4.1. Turbine à gaz	09
I.4.1.1. Principales applications	10
I.4.1.2. Principe de fonctionnement	12
I.4.1.3. Différents types de turbine à gaz	12
I.4.1.4. Classification des turbines à gaz	13
I.4.1.5. Cycle théorique des installations à turbine à gaz	14
I.4.1.6. Avantages et inconvénients des turbines à gaz	16
I.4.2. Turbine à vapeur	16
I.4.2.1. Définition	16
I.4.2.2. Types des turbines à vapeur	17
I.4.2.3. Composants de la turbine	18
I.4.2.4. Principe de fonctionnement de turbine à vapeur	20
I.4.2.5. Avantages et désavantages des turbines à vapeur	21
I.5. Turbine à gaz DR 990	22
I.5.1. Le rôle du Turbocompresseur KT501	22
I.5.2. Description de la turbine à gaz DR990	22
I.5.2.1. Système d'admission	23
I.5.2.2. Génératrice de gaz	23
I.5.2.3. Section turbine	25
I.5.2.4. Section d'échappement	27
I.5.3. Caractéristique d'une turbine à gaz DR 990	27
I.5.4. Conclusion	27

Chapitre II : Généralité sur la fiabilité, Maintenabilité et La disponibilité

II.1. Introduction	28
II.2. Définition de la maintenance	28
II.3. Le rôle de la maintenance	28

TABLE DES MATIERES

II.4. Objectifs de la maintenance	30
II.5. Les niveaux de maintenance	30
II.6. Types de maintenance	30
II.7. Les opérations de maintenance	33
II.8. Loi de Pareto et la courbe ABC	34
II.8.1. Diagramme de Pareto	34
II.8.2. Définition de la méthode ABC	34
II.8.3. But de la méthode ABC	34
II.9. Etude de FMD	34
II.9.1. La fiabilité	34
II.9.1.1. Objectifs de la fiabilité	34
II.9.1.2. Principales lois de probabilité utilisées en fiabilité	35
II.9.1.2.1. La loi exponentielle	35
II.9.1.2.2. La loi de WEIBULL	35
II.9.1.2.3. La loi normale	35
II.9.1.2.4. La loi log-normale (ou loi de GALTON)	36
II.9.1.2.5. La loi binomiale	36
II.9.1.2.6. La loi de POISSON ou loi de faibles probabilités	36
II.9.1.3. paramètres nécessaires alla mesure de fiabilité	36
II.9.1.3.1. Densité de probabilité	36
II.9.1.3.2. Fonction de répartitions	37
II.9.1.3.3. La fonction de fiabilité	37
II.9.1.3.4. Taux de défaillance	37
II.9.1.4. Loi de Weibull	39
II.9.1.4.1. Application à la fiabilité	40
II.9.1.4.2. Estimation des paramètres de la loi de weibull	40
II.9.1.4.3. Préparation des données	41
II.9.2. La maintenabilité	43
II.9.2.1. Taux de réparation μ	43
II.9.2.2. Amélioration de la maintenabilité	44
II.9.3. La disponibilité	44
II.9.3.1. Les type de disponibilité	45
II.9.3.1.1. disponibilité intrinsèque	45
II.9.3.1.2. disponibilité instantanée	45
II.9.3.2. Amélioration de la disponibilité	45
II.9.4. La relation entre MUT, MTBF, et MTTR	45
II.9.5. La relation entre les notions FMD	46
II.10. Conclusion	46

Chapitre III : Analyse FMD de la turbine à gaz DR990

III.1. Introduction	47
III.2. Exploitation de l'historique	47

TABLE DES MATIERES

III.3. L'application Pratique des méthodes d'analyse	48
III.3.1. Méthodes d'analyse prévisionnelle « ABC (Pareto)	48
III.3.2. La courbe d'analyse ABC	48
III.4. calcul les paramètres de weibull	49
III.4.1. Test (KOLMOGOROV SMIRNOV)	50
III.4.2. Exploitation les paramètres de WEIBULL	51
III.4.2.1. Le MTBF	51
III.4.2.2. La densité de probabilité en fonction de MTBF	52
III.4.2.3. La fonction de réparation en fonction de MTBF	52
III.4.2.4. La fiabilité en fonction de MTBF	52
III.4.2.5. Le taux de défaillance en fonction de MTBF	52
III.4.2.6. Calcul du temps souhaitable pour une intervention systématique	52
III.5. Étude de modèle de weibull	53
III.5.1. La fonction de la densité de probabilité	53
III.5.2. Fonction de répartition F(t)	54
III.5.3. La fiabilité	54
III.5.4. Le taux de défaillance	55
III.6. Calcul la Maintenabilité de la turbine	56
III.7. Calcul la disponibilité de la turbine	57
III.7.1. Disponibilité intrinsèque au asymptotique	57
III.7.2. Disponibilité instantané	57
III.8. Conclusion	59
Conclusion générale	60

Liste des figures

Figure I-1 :	Situation géographique de Haoud Berkaoui.....	04
Figure I-2 :	Classification des turbines.....	08
Figure I-3 :	Turbomoteur à turbine libre TM 333.....	11
Figure I-4 :	Schéma d'une turbine à gaz à une ligne d'arbre.....	12
Figure I-5 :	Schéma d'une turbine à gaz à deux lignes d'arbres.....	12
Figure I-6 :	Diagramme TS, d'une turbine.....	15
Figure I-7 :	Diagramme PV, d'une turbine.....	15
Figure I-8 :	Turbine à vapeur à condensation.....	17
Figure I-9 :	Turbine à vapeur sans condensation.....	17
Figure I-10 :	Vue d'ensemble de turbine à gaz DR 990.....	22
Figure I-11 :	Système typique d'admission.....	23
Figure I-12 :	Ensemble générateur de gaz (extrémité avant).....	24
Figure I-13 :	Chambre de combustion du générateur de gaz.....	25
Figure I-14 :	Ensemble générateur de gaz (extrémité arrière).....	25
Figure I-15 :	Ensemble turbine de puissance.....	26
Figure II-1 :	Différents Types De Maintenance.....	32
Figure II-2 :	Courbe en baignoire.....	37
Figure II-3 :	Principales propriétés de la distribution de Weibull.....	39
Figure II-4 :	Représentation sur graphique à échelle fonctionnelle de la distribution de Weibull (graphique d'Allan Plait)	40
Figure II-5 :	redressement de la courbe par translation.....	42
Figure II-6 :	probabilité de réparation au cours de temps	43
Figure II-7 :	Vie d'un système : évolution dans le temps.....	45
Figure II-8 :	La relation entre les notions FMD.....	45
Figure III-1 :	La Courbe d'ABC.....	48
Figure III-2 :	papier de WeiBull. en logiciel statistica.....	50
Figure III-3 :	La Courbe Densité De Probabilité.....	53
Figure III-4 :	La Courbe De Fonction Répartition.....	54
Figure III-5 :	La Courbe De la Fonction Fiabilité.....	55
Figure III-6 :	Le courbe taux de défaillance.....	56
Figure III-7 :	La Courbe de Maintenabilité.....	57
Figure III-8 :	La Courbe de disponibilité instantané	58

Liste des tableaux

Tableau III-1 :	Dossier historique de la turbine DR990	47
Tableau III-2 :	L'analyse ABC (Pareto)	48
Tableau III-3 :	Fonction de réparation réelle	49
Tableau III-4 :	test de Kolmogorov-Smirnov	51
Tableau III-5 :	Calcul la fonction de la densité de probabilité	53
Tableau III-6 :	Fonction de répartition $F(t)$	54
Tableau III-7 :	Calcul de la fiabilité	55
Tableau III-8 :	Calcul le taux de défaillance	55
Tableau III-9 :	La maintenabilité de la pompe	56
Tableau III-10 :	Tableau de disponibilité instantané	58

Notations utilisées

Nomenclature

T max : température maximale..... [°C]
P : la pression..... [Pa]
n : vitesse de rotation..... [tr/min]

Abréviations

DR : DRESSER RAND.
HBK : HOUD BERKAOUI
BKH : BENKAHLA
GLA : GUELLELA
BKHE : BENKAHLA EST
DRT : DRAAETHMRA
U.T.G : Unité de traitement du gaz
CFPA : Compagnie française de pétrole algérien
I.T.G : L'installation de turbine à gaz.
C : Compresseur
CC : Chambre de combustion
L : La charge
GG : Génératrice de gaz
TP : La puissance de la turbine
Turbine HP : Turbine haut pression
Turbine BP : Turbine bas pression
TBF : Temps de bon fonctionnement
UT : Temps entre défaillances
R(t) : Fonction de fiabilité
F(t) : Fonction de défaillance
f(t) : Densité de probabilité
MUT : Moyenne temps entre défaillances
MTTR : Moyenne de temps de réparation
MTBF : Moyenne de temps de bon fonctionnement

Notations utilisées

D : Disponibilité

$\lambda(t)$: Taux de défaillance

μ : Taux de réparation

γ : Paramètre de position

η : Paramètre d'échelle

β : Paramètre de forme

Résumé

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 du ratio services et avec l'évolution très rapide des méthodes et outils liés à la maintenance, parmi ces outils ou machines liés à la maintenance, on trouve la turbine.

Le but de notre travail est l'étude de la maintenance de la turbine, étude des causes des différents endommagements, ainsi que l'étude de sa fiabilité, maintenabilité et disponibilité

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

ملخص:

صيانة الأنظمة الصناعية أصبح عنصر ضروري لتصميمها وإستغلالها , وهذا من أجل التكلفة و النوعية , إذا في هذه الحالة نبحث عن أنواع الصيانة المناسبة مع مراعاة الجانب الاقتصادي الذي يتطلب تحسين الإستغلال و نوعية المنتج وذلك بالتخفيض من نسبة الخدمات , و في من بين هذه الأجهزة نجد العنفات.

و الهدف من عملنا هذا هو دراسة صيانة العنفات وأسباب الأضرار المختلفة التي تؤثر على إنتاجها و فاعليتها و قابلية صيانتها .

الكلمات الدالة : المحركات التوربينية , العنفة , الفاعلية , الوفرة , قابلية الصيانة

Summary :

Maintenance of industrial systems has become a point of immediately necessary design and operations, as, for reasons of cost and quality. So in this case seek the appropriate maintenance guy with economic rigor that requires the optimization of the operation and the quality of products on the basis of reduced service ratio and the rapid evolution of methods and tools related to the maintenance of these tools or maintenance-related machines, there is the turbine.

The aim of our work is the study of maintenance of the turbine, studying causes of different damages, and the study of its reliability, maintainability and availability.

Keys : turbo, turbine, reliability, availability, maintainability.

Introduction :

Dans un contexte économique en constante évolution, la recherche des conditions optimales de maintenance de l'outil de production, représente un grand enjeu pour les entreprises nationales, particulièrement celles du secteur pétrolier.

Comme un acteur majeur de l'industrie pétrolière, la SONATRACH « Société Nationale pour la Recherche, la Production, le Transport, la Transformation, et la Commercialisation des Hydrocarbures s.p.a » s'est engagée à progresser dans la stratégie de rénovation des équipements et des méthodes de maintenance de ses installations pétrolières et gazifières tout au long des dernières années.

L'entreprise SONATRACH cherche toujours à exploiter les équipements statiques et les machines tournantes de ses usines à leur plein régime dans un souci de compétitivité et de respect des délais tout en cherchant à garantir les exigences de qualité et de sécurité requises. Ces objectifs peuvent difficilement être atteints sans une maintenance adéquate de ses équipements.

Cela mène l'entreprise à l'obligation de dynamiser leur production et optimiser la disponibilité opérationnelle de leurs équipements stratégiques, pour produire plus et mieux, pour réduire le risque de rupture inopinée du service, pour mieux faire face à une concurrence agressive, et réduire les coûts d'exploitation.

C'est dans cette optique que notre modeste travail s'inscrit. Il se veut, au fil des trois chapitres, l'analyse de la fiabilité, de la maintenabilité, et de la disponibilité (F.M.D.) d'une turbine à gaz Type DR990, installée à l'unité de traitement de gaz à Guellala, SONATRACH/Activité Amont/Division Production/Direction Régionale Haoud Berkaoui:

Dans le premier chapitre on a présenté le site de HAUD BERKAOUI, passant par la théorie de la turbine en générale, on a entamé une étude de la turbine à gaz type DR990.

Le deuxième chapitre est réservé à l'étude théorique des concepts FMD en maintenance, après avoir rappelé quelques notions et généralités sur la maintenance.

Le troisième chapitre est une validation expérimentale des indicateurs FMD sur notre turbine, cela est réalisé sur la base de l'historique des temps de bon fonctionnement, des temps d'arrêt et des temps de disponibilité à l'arrêt de la turbine.



Chapitre I
Généralité sur les turbines

I.1. Introduction :

La turbine est devenue de nos jours très employée dans notre civilisation industrielle, elle trouve trois principaux domaines d'applications : elle est d'abord très répandue dans le domaine de la motorisation, en particulier la motorisation des avions (turboréacteur) ; elle est également utilisée dans la production d'électricité (centrales électriques) ; et elle joue le rôle primordiale dans l'exploitation de pétrole et de gaz naturel.

Dans ce chapitre, et avant d'enter dans la théorie de la turbine, nous allons présenter le site de Haoud Berkaoui, et l'organisation de la division maintenance.

I.2. Présentation du site de HAUD BERKAOUI :**I.2.1. Historique :**

Les études géologiques réalisées à Ouargla ont permis de connaître l'existence de deux structures appelées Haoud Berkaoui et Benkahla. En mars 1965, un gisement d'huile fut localisé dans la série inférieure du Trias argilos Gréseaux (tag) plus exactement à Haoud Berkaoui, par la compagnie CFP (compagnie française de Pétrole).

La zone pétrolière de Haoud Berkaoui, est constitué de près de vingt champs pétroliers répartis sur 6300 Km sur le bord oriental de la dépression Oued-mya. Les plus importants de cette région sont ceux de Haoud Berkaoui, Benkahla et Guellala. Elle renferme les accumulations d'huile essentielle de cette zone. La série inférieure de TAG, situé à une profondeur moyenne de 3350 m, est le principal réservoir productif d'huile des blocs 438.

Parmi les autres champs constituant la périphérie de cette région figure 1.1 Tamra (DRT), Guellala ...ext

Haoud Berkaoui est devenue une région autonome en 1976, alors qu'elle dépendait de la région de Hassi Messaoud depuis le début de son exploitation. [1]

I.2.2. Situation géographique :

La région de Haoud Berkaoui représente l'une des dix principales zones productrices des hydrocarbures algériens. Elle fait partie du bassin Oued Miya qui se situe au Nord-Est du Sahara algérienne et dont configuration est celle d'une dépression NE-SO.

Sur la route n° 49 dite pétrolière reliant Ghardaïa à Hassi messaoud, elle se localise à :

- 35 Km du sud ouest d'Ouargla.
- 100 Km à l'ouest de Hassi Messaoud.
- 770 Km au sud-est de la capitale Alger.

Elle est très importante en raison de sa part de production des hydrocarbures du pays. Elle s'étend du sud est de Ghardaïa jusqu'au champ externe Boukhzana, près de la route de Touggourt.

A ce jour là, 100 puits sont en exploitation, répartis sur l'ensemble des champs, dont 73 puits en gaz lift, et 27 éruptifs. La production cumulée depuis l'origine est de 86 millions m³, pour les réservoirs globaux en place est de 472 million m³ Toutes les quantités d'huile et des gaz récupérés sont acheminées vers les différents centres de production. [1]

Il existe trois centres principaux de production situés à :

- Haoud Berkaoui (HBK)
- Benkahla (BKH)
- Guellala (GLA)

Ainsi que plusieurs petits champs périphérie de cette région :

- N'Goussa
- Draa- Ethmra (DRT)
- Guellala Nord -Est (GLANE)
- Boukhzana
- Sahane
- Takhouhkt
- Ouersenis
- Mokh-Ealgroub(KG)
- Babe- Elhattabet(BHT)
- Heniet-Elbaida(HEB)

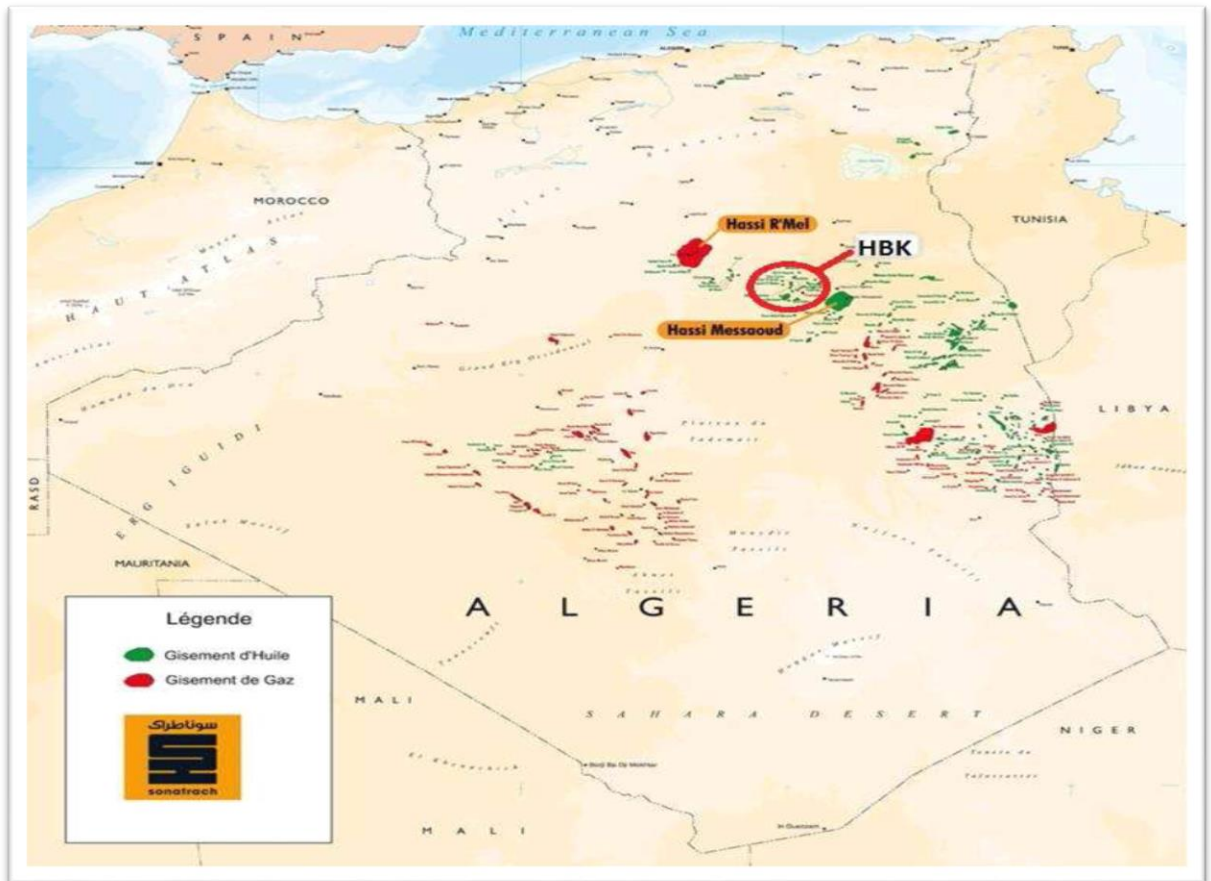


Figure I.1 : Situation géographique de Haoud Berkaoui. [1]

I.2.3. Les principaux champs et les unités de gaz de la région :

La région HBK comprend trois principaux champs :

I.2.3.1. Champ de HBK :

Sur une superficie de 175 Km², ce champ est découvert en 1965, et mis en production en Janvier 1967

Le centre de production de HBK se compose de:

- Une unité de séparation d'huile avec une capacité de 8000 m³ /jour.
- Une unité de stockage d'une capacité de 13000 m³ /jour.
- Une unité de boosting gaz d'un 1 million m³ /jour.

Le gaz HP, MP et B sont récupérés à partir des lignes de torche existantes.

- Unité de station d'injection d'eau à raison de 6000 m³ /jour.
- Unité de station déshuilage.

I.2.3.2. Champ de Guellala :

Découvert en 1969 le champ de GLA s'étend sur une superficie de 35 km² et se constituant de:

- Unité de séparation d'huile d'une capacité de 5000 m³ /jour.
- Unité de stockage de 15000 m³ /jour.
- Unité de boosting gaz de 762000 m³ /jour.
- Unité de station d'injection d'eau à raison de 6000 m³ /jour.
- Unité de station de déshuilage.

- **UTG GLA/C**

Cette station est également dotée d'une unité de traitement de gaz d'environ 2,4 million m³ /jour, sa capacité de récupération est estimée à 500 tonne/ jour pour le GPL et 90 tonne/ jour pour le condensat.

Cette unité de traitement contient une station de compression de gaz à 75 bar d'une capacité de 1,66 million m³ /jour dont 65000 m³ /jour sont comprimés à 140 bar pour Les gaz lift des puits de la région, les volumes restants étant expédiés vers Hassi R'mel auquel s'ajoutent 42900 tonne de GPL.

I.2.3.3. Champ de BKH :

Découvert en 1966, et s'étend sur une superficie de 72 m². Il a été mis en production en 1967 et il se compose de :

- Unité de séparation d'huile de 5000 m³/jour.
- Unité de station gaz de 0,59 million m³/jour.
- Unité de station déshuilage.

Toute la production d'huile de BKH est expédiée vers le centre de production de HBK.

I.2.4. Activités et Développement de la région Haoud Berkaoui:

La région de HAOUD BERKAOUI fait partie de la division production. Ses principales activités sont essentiellement :

- La production du brut ;
- La récupération du gaz torché ;
- L'injection d'eau.

En espace de 39ans, la région a connu des changements très importants au fur et à mesure de son développement dont voici les dates les plus importants :

1963 : Découverte du champ Ouargla par le sondage OA*1.

1965 : Découverte du champ HBK par le sondage OK*101 situé au sommet de la structure.

1966 : Découverte du champ HBK par le sondage OKP*24.

1967 : mise en production d'un centre de traitement d'huile à Berkaoui, composé de deux batteries séparation, trois bacs de stockage et de deux motos pompage diesel, pour l'expédition par la mise en production du première puits OK*101.

1969 : Découverte du champ de Guellala par le sondage GLA*01.

1970 : Extension du centre de Berkaoui pour recevoir la production de Benkahla.

1971 : Mise en service de centre de Ben Kahla.

1972 : Découverte de champ de Guellala nord-est par le sondage GLANE*01.

1976 : Mise en service de centre de production de Guellala.

1978 : Mise en service de centre de production GLANE et la création de la région de Haoud Berkaoui.

1980 : Mise en service de centre de traitement de DRT.

1981 : Démarrage de l'injection d'eau à Berkaoui et Ben kahla.

1984 : Extension de centre de GLANE.

1989 : Passion de consignes entre la région HBK et Hassi R'mel pour les champs de Oud Noumer.

1992 : Mise en service des nouvelles unités électrique d'injection d'eau à GLA et BKH.

1995 : Mise en service de la nouvelle unité électrique d'eau à HBK.

1996 : Mise en service de la nouvelle unité dessalage au centre de HBK.

1999 : Découverte de champ de Benkahla est (BKHE) par le sondage BKHE*01.

2001 : Mise en service d'une station de traitement des eaux domestique. [1]

I.2.5. L'organisation et fonctionnement de la division maintenance :

Elle occupe une place très importante dans la région : ceci se caractérise surtout par ses diverses activités, pour le bon fonctionnement des équipements d'exploitation.

Ses fonctionnements sont surtout d'ordre technique, électrique, mécanique et régulation.

Quatre services composés d'équipe jeune et dynamique activent au sein de cette division :

I.2.5.1. Service électricité :

Chargé de tous les travaux de nature électrique tel que le réseau d'alimentation en énergie électrique, sous station électrique, équipement, appareillages..., la nature des travaux à la charge de ce service est à caractère : préventif, curatif, prédictif.

I.2.5.2. Service mécanique :

Ce service prend en charge tous les travaux de nature mécanique tel que accouplement, alignement, chargement des parties défectueuses, réparation...

Il est composé de trois ateliers :

- Atelier mécanique : réparation des pannes de nature mécanique.
- Atelier usinage : équipé de machine outils.
- Atelier chaudronnier.

I.2.5.3. Service instrumentation :

Il est chargé de l'entretien le contrôle et le suivi des instruments de régulation (en bon état de marche). Le service dispose de trois (3) cellules :

- Cellule régulation.
- Cellule électronique.
- Cellule télécommunication.

I.2.5.4. Service méthode :

Il est chargé de :

- La documentation technique.
- La présentation des pièces de rechange.
- L'établissement des rapports d'activité (hebdomadaire, mensuel, annuel). [1]

I.3. Historique de la turbine à gaz :

Dans l'histoire de la turbine à gaz, on peut distinguer trois périodes :

En 1791, l'Anglais John Barber brevetait un appareil hybride puisque cette turbine à gaz comportait un compresseur alternatif. Pour les turboréacteurs, c'est le Français

Lorin qui, en 1911, en fait breveter le principe.

Entre 1901 et 1906, les recherches des Français Armengaud et Le Male aboutissent au premier turbomoteur autonome avec un rendement global à 3%.

En 1930 : Brevets par Frank Whittle de moteurs à réaction d'aviation qui sont des turbines à gaz.

Les années 1950 : utilisation des turbines pour la production d'électricité avec un rendement de 30%.

Les années 60 : diminution du coût du gaz et l'utilisation des turbines à gaz se multiplie dans le domaine industriel notamment dans l'industrie pétrolier et de gaz.

Dans ce domaine, trois générations peuvent être classées, distinguées par les intervalles de température maximale (en °C) des gaz à l'entrée du premier étage du rotor de la turbine :

- 1^e génération : $760 < T_{\max} < 955$ °C
- 2^e génération : $955 < T_{\max} < 1124$ °C
- 3^e génération : $1149 < T_{\max} < 1288$ °C

Evidemment, l'augmentation de la température d'entrée à la première turbine a eu comme effet une augmentation du rendement thermodynamique, qui est passé des valeurs inférieures à 20% dans les premières machines, à des valeurs courantes supérieures à 40% (turbine à gaz LM6000). [5]

➤ **Quelques dates :**

1936 : première turbine aéronautique britannique,

1939 : turbine à gaz expérimentale (en cycle fermé) de 200 kW par Escher wiss...

1944 : turbine à gaz pour propulsion marine par Elliott ;

1960 : général électrique lance la 5000, la plus réponde des turbines à gaz industrielles ;

1975 : la turbine à gaz dépasse 100Mw (modèle 9001 Alsthom- Atlantique) ;

Depuis l'arrivé de nouveaux constructeurs dans le domaine est assez rare, vu le niveau technologique atteint par ces machines.

I.4. Classification des turbines :

Les turbines sont des machines rotatives qui convertissent l'énergie fournie par l'expansion des gaz chauds ou de vapeur en énergie mécanique. La figure I.2 classe les divers types de turbines d'usage courant dans les installations industrielles, les bâtiments commerciaux et les immeubles de caractère public. Les turbines à vapeur et à gaz constituent les deux catégories principales. Comme leurs sources énergétiques et leurs caractéristiques de fonctionnement différent, les turbines à gaz et à vapeur seront traitées séparément.

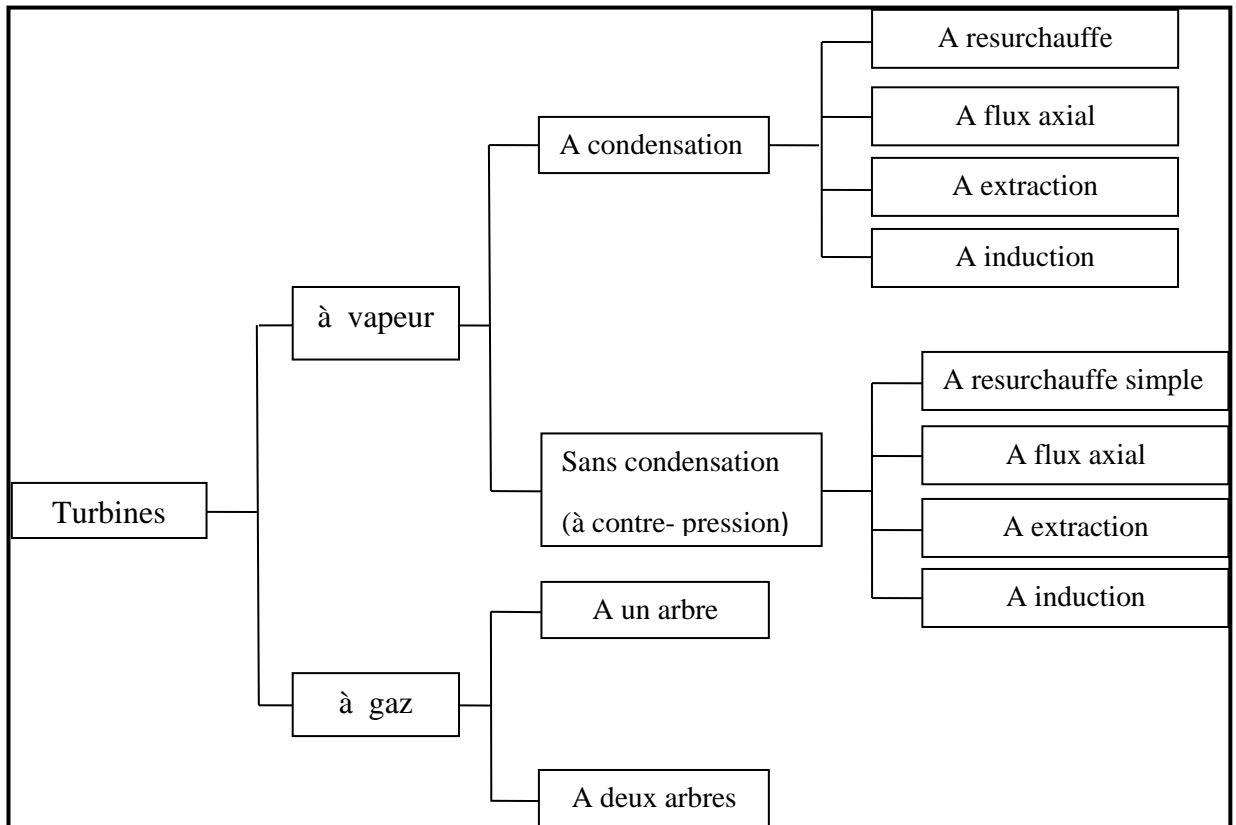


Figure I.2 : Classification des turbines.

I.4.1. Turbine à gaz :

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 convertie cette puissance en énergie mécanique utile pendant les processus de détente qui à 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.

Comparée aux autres moteurs thermiques, la turbine à gaz présente une double particularité ; de même que la turbine à vapeur, la turbine à gaz est une machine à écoulement continu, donc ne comporte pas de variation périodiques de l'état de fluide ; dans toutes section donnée ; mais tendit que la turbine à vapeur, le fluide ne subit pas qu'une seul transformation qui est la détente;

La turbine à gaz (au sens large du terme), est le siège de l'ensemble de transformations constituant le cycle thermodynamique décrit par le fluide ; donc, la turbine à gaz est assimilée

aux moteurs à combustion interne mais les transformations s'effectuent dans des enceintes et juxtaposées dans l'espace.

Le rendement thermique d'une T.A.G se situe entre 16 et 28% pour une installation simple sans la récupération des calories d'échappements et entre 26 et 30% pour une installation avec la récupération de ces calories. Il reste néanmoins bien inférieur à celui des moteurs à gaz.

Dans sa forme la plus simple et la plus répandue, cette machine est composée de trois éléments principaux :

- Compresseur axial.
- Chambre de combustion.
- Turbine de puissance.

Une turbine à gaz se définit généralement par :

- Type, à un arbre ou à deux arbres.
- Machine à entraîner fixe ou mobile.
- Nature de son cycle thermodynamique, simple ou avec récupération.

I.4.1.1. Principales applications :

Chaque cas d'application d'une turbine à gaz comprend un nombre important de paramètres de définitions spécifiques : type de combustible, durée de fonctionnement par an, températures extérieures extrêmes, montage, nuisances, etc. Il en résulte qu'une installation de turbine à gaz doit être personnalisée afin de répondre aux conditions d'exploitation envisagées.

Étudions tout d'abord les utilisations principales avant de passer en revue, au paragraphe suivant, les critères servant de base de réflexion pour choisir le dimensionnement d'une installation.

a. Utilisation des turbines à gaz pour la propulsion :

L'utilisation de la turbine à gaz dans l'aviation (avions, hélicoptères) est bien connue.

Dans le domaine des transports civils et militaires, les turbines à gaz sont également utilisées pour la propulsion, car elles permettent d'obtenir de grandes puissances avec des poids et dimensions faibles par rapport à ceux des moteurs diesels.

b. Production combinée chaleur-force :

Ce type d'application permet d'économiser les dépenses d'énergies. Le couple de force peut servir à l'entraînement d'une machine réceptrice et la chaleur peut servir pour le chauffage, séchage, production de vapeur pour un processus industriel. Le principe de cette application peut être encore poussé plus loin pour obtenir des installations industrielles dites à énergie totale où la turbine à gaz peut fournir simultanément trois formes d'énergie : électrique (alternateur), pneumatique (par prélèvement d'air sur le compresseur), calorifique (récupérateur de chaleur des gaz d'échappement). Le rendement de telles installations est ainsi fortement revalorisé et peut atteindre 50 à 60%.

c. Production d'électricité :

Cette application est extrêmement courante : l'arbre de la turbine entraîne un réducteur dont l'arbre à petite vitesse entraîne un alternateur. Le système mécanique est simple et peut être comparé à un groupe turboalternateur à vapeur.

Produire uniquement de l'électricité avec une turbine à gaz n'est intéressant que pour des conditions d'exploitation imposant ce système.

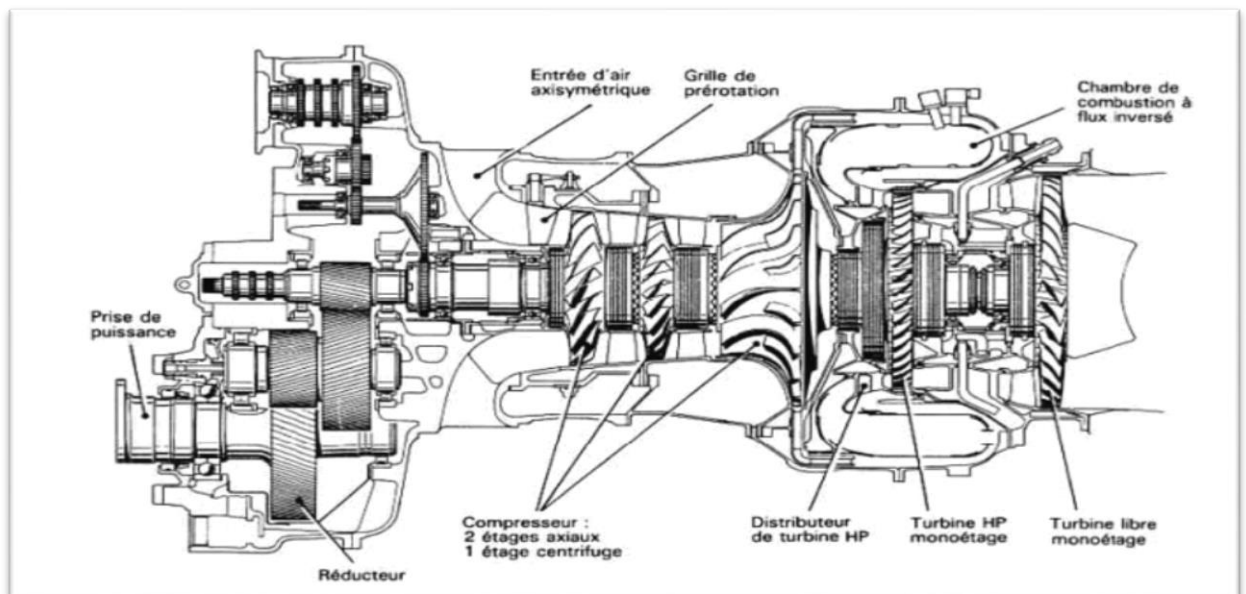


Figure I.3: Turbomoteur à turbine libre TM 333. [5]

d. Pompage et compression :

Dans tous les types d'applications étudiés, il est tout à fait possible de remplacer l'alternateur entraîné par une pompe, par un compresseur ou une soufflante.

I.4.1.2. Principe de fonctionnement :

Une turbine à gaz fonctionne de la façon suivante :

- Extrait de l'air du milieu environnement.
- Comprime à une pression plus élevée.
- Augmente le niveau d'énergie de l'air comprimé, en ajoutant et en brûlant le combustible dans une chambre de combustion.
- Achemine 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.

Ceci, sert d'un côté à fournir l'énergie utile au compresseur centrifuge couplé au moyen d'un accouplement et de l'autre côté, à fournir l'énergie nécessaire pour la compression de l'air, au compresseur axial relié directement à la section turbine.

- Décharge à l'atmosphère les gaz à pression et température basses, résultants de cette transformation.

I.4.1.3. Différents types de turbine à gaz :

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

a. Turbine à une ligne d'arbre :

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

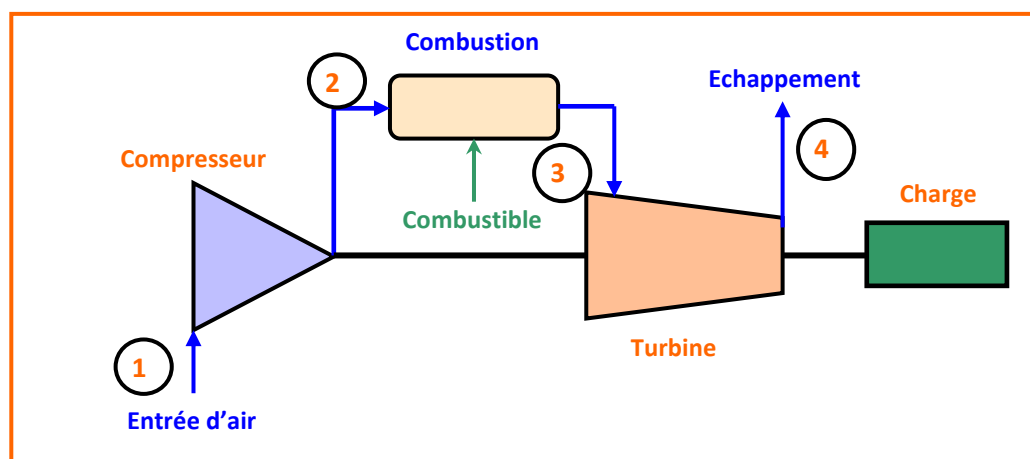


Figure I.4 : Schéma d'une turbine à gaz à une ligne d'arbre.

b. Turbine à deux lignes d'arbre :

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

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

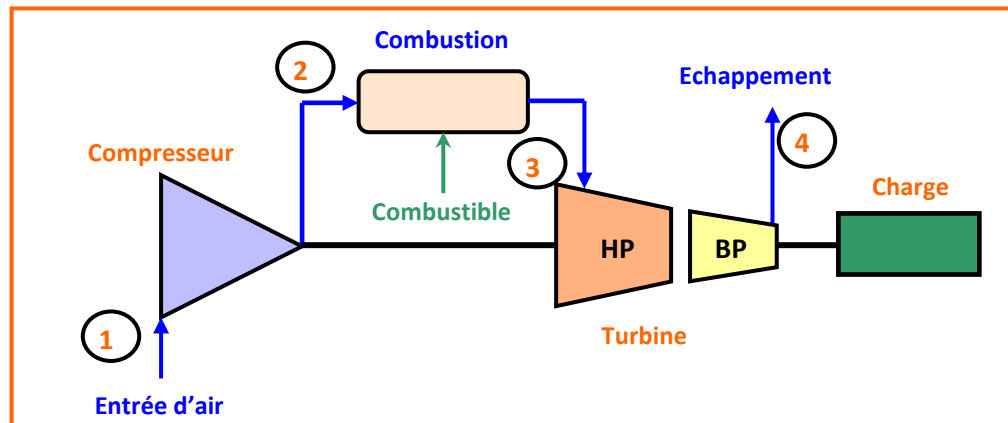


Figure I.5 : Schéma d'une turbine à gaz à deux lignes d'arbres

I.4.1.4. Classification des turbines à gaz :**a. Par le mode de construction :**

L'objectif pour le quel on utilise la turbine à gaz définit le type qu'on doit choisir. Dans l'industrie, on trouve les turbines à un seul arbre, dites aussi mono-arbre; elles sont généralement utilisées dans le cas où on cherche un fonctionnement avec une charge constante (pour entraîner les générateurs d'électricité). Un deuxième type, englobe les turbines à deux arbres (bi-arbres); elles ont l'avantage d'entraîner des appareils à charges variables (pompes, compresseur,...); elles se composent de deux parties, la première assure l'autonomie de la turbine, la deuxième est liée à la charge. Un troisième type peut être aussi cité, ce sont les turbines dites dérivées de l'aéronautique; Elles ont une conception spéciale suivant le domaine dans le quel elles sont utilisées; dans ce troisième type la partie qui assure l'autonomie de la turbine existe toujours, et l'énergie encore emmagasinée dans les gaz d'échappement est utilisée pour créer la poussée, en transformant cette énergie (thermique et de pression) en une énergie cinétique de jet dans une tuyère. [3]

b. Par le mode de travail :

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.

c. Par le mode de fonctionnement thermodynamique :

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 possédant encore un potentiel énergétique sont perdus dans l'atmosphère à travers l'échappement
 - ✓ **Turbine à cycle régénéré :** c'est une turbine dont le cycle thermodynamique fait intervenir plusieurs fluides moteurs dans le but d'augmenter le rendement de l'installation. [7]

I.4.1.5. Cycle théorique des installations à turbine à gaz :

Les cycles de l'installation de turbine à gaz sont divers, d'après l'utilisation du fluide moteur dans le cycle, on distingue d'abord le cycle fermé et le cycle ouvert.

Dans l'installation de turbine à gaz à cycle ouvert le fluide moteur après avoir fourni le travail s'échappe dans le milieu ambiant (comme dans les moteurs à combustion interne) et au contraire, dans l'installation de turbine à gaz à cycle fermé le fluide moteur (air ou l'autre gaz) circule constamment dans le contour et accomplit le cycle fermé.

D'après le cycle thermodynamique on peut citer les I.T.G simples, les I.T.G avec refroidissement et échauffement intermédiaires.

En ce qui concerne l'apport de chaleur, il existe deux types d'I.T.G : I.T.G à apport de chaleur à la pression constante et I.T.G à apport de chaleur au volume constant.

Dans les installations des turbines à gaz modernes, on utilise principalement l'apport de chaleur à $P=\text{constant}$. C'est pourquoi commençons à étudier les I.T.G à apport de chaleur à $P=\text{constant}$ et qui fonctionne d'après le cycle ouvert.

Les installations de turbines à gaz les plus simples comprennent les éléments suivants : pompe d'alimentation de combustible, compresseur d'air, chambre de combustion et turbine à gaz.

La turbine à gaz et le compresseur se trouvent sur le même arbre, le compresseur aspire l'air atmosphérique, le comprime puis l'envoie vers la chambre de combustion, dans cette chambre à la pression constante le combustible pulvérisé brûle et le fluide moteur reçoit une quantité de chaleur, la température des gaz augmente, puis ces gaz pénètrent dans la turbine à gaz et au cours de la détente des gaz, l'énergie thermique est transformée en énergie cinétique et celle-ci se transforme à son tour en énergie mécanique.

Considérons le cycle thermodynamique d'I.T.G sans tenir compte des pertes dans la turbine et dans le compresseur. Un tel cycle s'appelle cycle théorique.

Le compresseur aspire et comprime l'air (transformation adiabatique 1-2), puis, on a l'apport de chaleur dans la chambre de combustion à la pression constante.

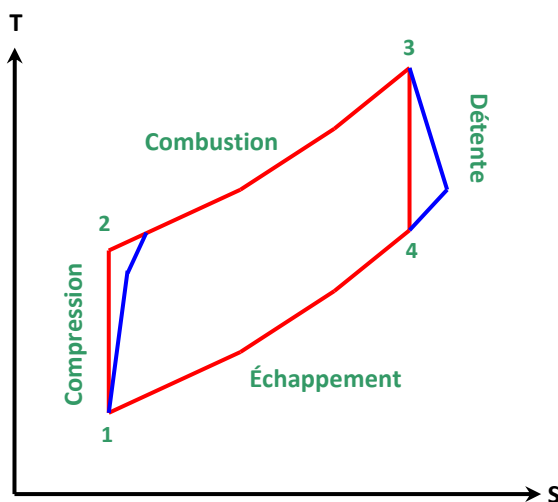


Figure I.6 : Diagramme TS, d'une turbine.

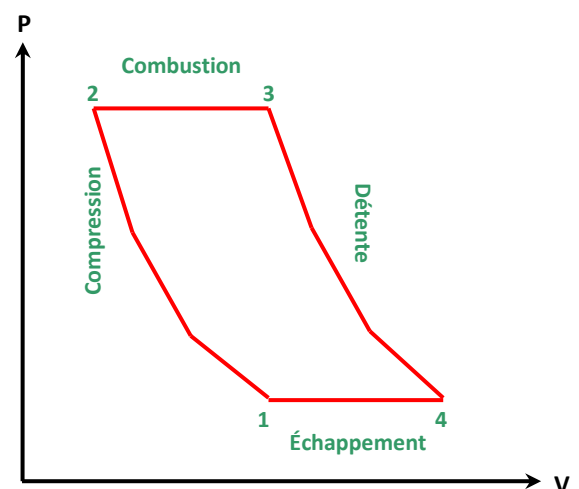


Figure I.7 : Diagramme PV d'une turbine.

1-2 : Compression isentropique.

2-3 : Combustion isobare.

3-4 : Détente isentropique.

4-1 : Echappement.

La température des gaz augmente dans la chambre de combustion de T_2 jusqu'à T_3 , après cela les gaz se détendent adiabatiquement dans la turbine de la pression P_3 jusqu'à la pression atmosphérique P_4 .

Au cours de la détente des gaz dans la turbine l'énergie potentielle se transforme en énergie cinétique et puis dans les aubes mobiles l'énergie cinétique se transforme en énergie mécanique, c.-à-d. en énergie de rotation du rotor de la turbine.

I.4.1.6. Avantages et inconvénients des turbines à gaz :

a. Avantages :

Une puissance élevée dans un espace restreint dans le quel un groupe diesel de même puissance ne pourrait pas être logé.

- A l'exception de démarrage et arrêt, la puissance est produite d'une façon continue.
- Démarrage facile même à grand froid.
- Diversité de combustible pour le fonctionnement.
- Possibilité de fonctionnement à faible charge.

b. Inconvénients :

- Au-dessous d'environ 3000KW, prix d'installation supérieur de celui d'un groupe diesel;
- Temps de lancement beaucoup plus long que celui d'un groupe diesel ; à titre indicatif : 30 à 120 s pour une turbine, 8 à 20 s pour un groupe diesel.
- Rendement inférieur à celui d'un moteur diesel (cycle simple). À titre indicatif : 28 à 33 % pour une turbine de 3000 KW, 32 à 38 % pour un groupe diesel. [7]

I.4.2. Turbine à vapeur :

I.4.2.1. Définition :

La turbine à vapeur est un des matériels stratégiques des installations de production d'énergie électrique. Son indisponibilité entraîne la perte de la production d'énergie, contrairement à d'autres matériels (pompes alimentaires, pompes de circulation assistée, ventilateurs...) dont la redondance permet de poursuivre l'exploitation des installations soit à pleine charge, soit éventuellement à charge partielle. [6]

I.4.2.2. Types des turbines à vapeur :

Les turbines à vapeur sont classées selon les conditions de la vapeur à l'évacuation, soit des types à condensation ou sans condensation. Dans les turbines à condensation (Figure I.08), la vapeur d'admission est habituellement surchauffée pour minimiser la condensation à l'intérieur de la turbine et la vapeur d'échappement est à une pression inférieure à la pression atmosphérique. La faible pression d'échappement est produite par un échangeur de chaleur externe qui refroidit la vapeur et la condense alors qu'elle s'échappe de la turbine.

Dans les turbines sans condensation (Figure I.09), quelquefois appelées turbines à contre-pression, la vapeur d'échappement est égale ou supérieure à la pression atmosphérique. Comme la vapeur d'admission est souvent à la pression et à la température de saturation, on obtient un mélange de vapeur et de condensat, soit une vapeur humide à l'échappement. [6]

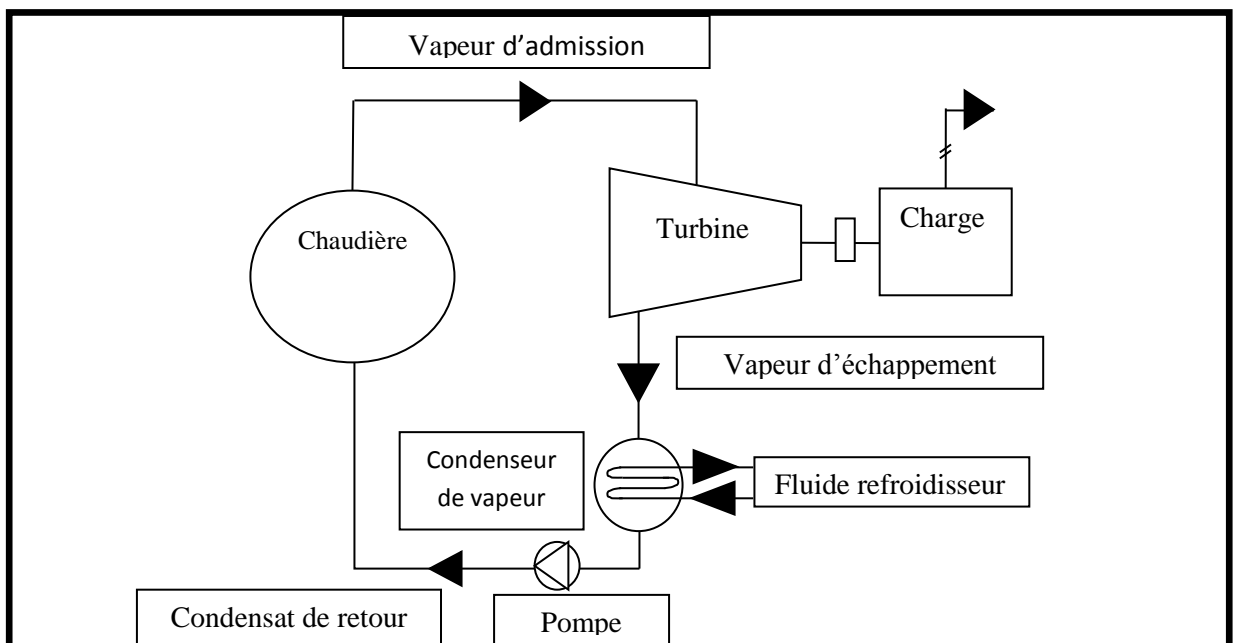


Figure I.08 : Turbine à vapeur à condensation. [6]

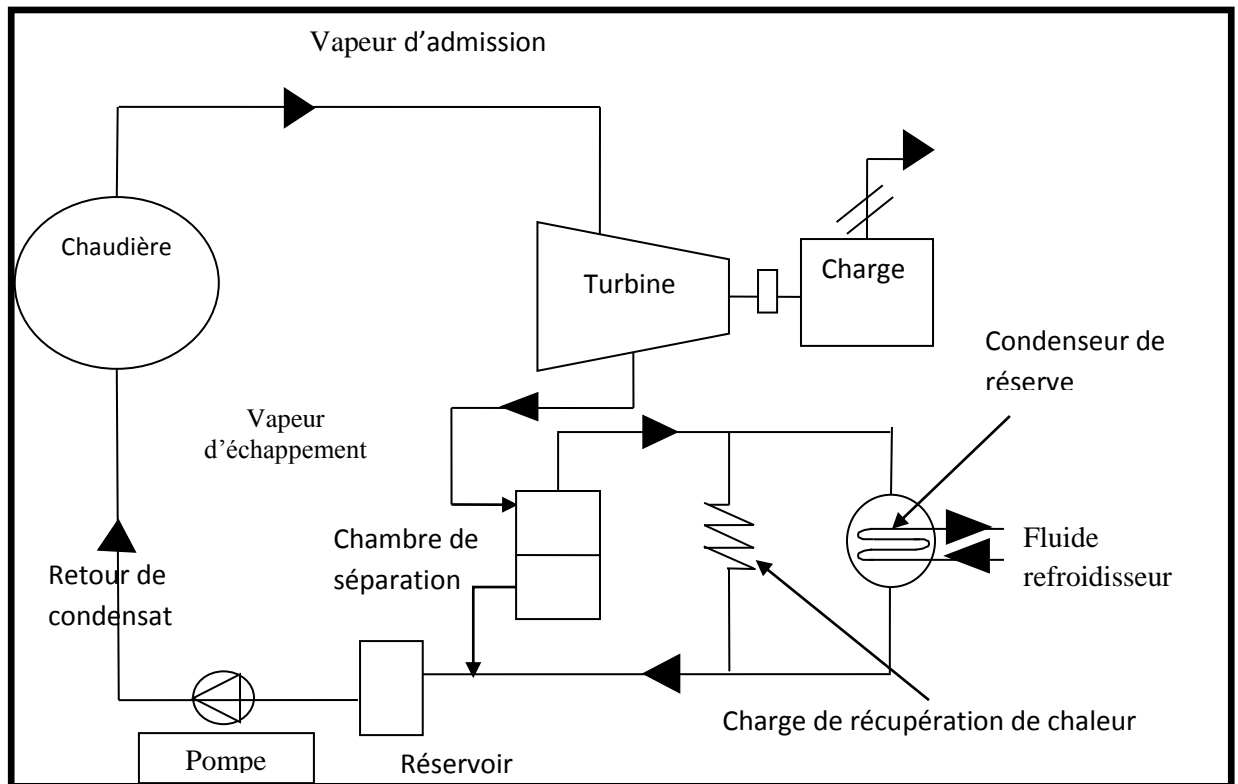


Figure I.09 : Turbine à vapeur sans condensation. [6]

I.4.2.3. Composants de la turbine :

Nous avons vu précédemment que l'ampleur des accidents majeurs est la conséquence des niveaux d'énergie emmagasinés dans les rotors. Nous nous intéressons ici aux actions de maintenance qui concernent ces seuls composants, destinées à garantir leur intégrité, sachant que la maintenance visant à limiter les risques d'emballement de la ligne d'arbres est traitée dans le paragraphe relatif aux organes d'admission vapeur.

Les turbines à vapeur sont équipées de rotors construits selon trois types de conception :

- rotor monobloc forgé ;
- rotor à disques frettés ;
- rotor soudé.

Ces différentes conceptions, qui dépendent de la dimension des pièces et de la maîtrise technique correspondante des constructeurs, sont déterminantes pour la définition des zones sensibles à contrôler sur ces composants. [6]

I.4.2.3.1. Organes d'admission vapeur :

Les organes d'admission vapeur comprennent :

- les vannes d'arrêt destinées à interrompre le débit de vapeur dans un temps requis de quelques dixièmes de seconde lors des déclenchements.
- les soupapes de réglage dont le rôle est de régler la vitesse de la turbine et, une fois le groupe turboalternateur couplé au réseau électrique, de régler sa puissance. Il faut considérer que les soupapes de réglage, également capables d'interrompre le flux de vapeur en cas de déclenchement, constituent, avec les vannes d'arrêt, un système de sécurité redondant.

I.4.2.3.2. Clapets de soutirage :**a) Limitation du risque d'emballement de la ligne d'arbres :**

Les clapets de soutirage protègent la turbine contre les survitesses consécutives à une éventuelle revaporisation de l'eau contenue dans les réchauffeurs lors de la fermeture des organes d'admission. Les dispositions de maintenance visent à vérifier leur fonctionnement lors d'essais périodiques et à examiner leur état lors des révisions. Elles sont similaires aux dispositions prises pour la maintenance des organes d'admission vapeur.

b) Retours d'eau dans la turbine :

Sans conduire dans tous les cas à la mise en survitesse de la ligne d'arbres, la défaillance d'un clapet de soutirage peut entraîner des dommages importants tels que la déformation d'un rotor par retour d'eau ou de vapeur « froide » des réchauffeurs.

I.4.2.3.3. Paliers et butée de la ligne d'arbres :

Les principales dispositions de maintenance pour limiter les indisponibilités imputables à ces matériels portent sur l'ensemble de la ligne d'arbres, y compris l'alternateur. Elles comprennent :

- le maintien d'une géométrie rigoureuse de la ligne d'arbres, ou lignage, du groupe turboalternateur qui permet de diminuer les risques :
- de fissuration transverse des rotors par flexion rotative,
- de comportement vibratoire anormal suite à des reports de charges favorables à l'apparition des phénomènes d'instabilité de film d'huile,
- d'échauffement du métal antifriction des coussinets,

I.4.2.3.4. Parties fixes :

Les principales dispositions relatives à la maintenance des parties statoriques portent sur :

- l'examen visuel et le contrôle par ressuage des tuyères d'admission (ou premier étage fixe) des turbines des cycles classiques. Ces pièces sont soumises à des phénomènes d'érosion et/ou d'abrasion dont le développement peut entraîner la déformation des canaux et perturber l'écoulement de vapeur. La modification de l'angle d'attaque de la vapeur sur la première roue du rotor peut être à l'origine d'une excitation néfaste pour la tenue mécanique des ailettes ;
- le contrôle des aubages fixes : recherche des traces de frottement, érosion, chocs, fissures... ;
- la mesure de la déformation des diaphragmes « chauds » qui peut entraîner une réduction des jeux entre parties fixes et mobiles ;
- la recherche par examen visuel ou ressuage des défauts initiés par fatigue thermique dans les zones de concentration de contraintes (pipes d'admission, emboîtement des diaphragmes...).
- le contrôle des jeux de clavettes de positionnement des corps ;
- le contrôle ultrasonore ou magnétoscopique de la goujonnerie ;
- la mesure de l'allongement résiduel des goujons « chauds » pour les machines des cycles classiques.
- de rupture de film d'huile.

I.4.2.4. Principe de fonctionnement de turbine à vapeur :

Une turbine à vapeur transforme l'énergie de la vapeur en puissance à l'arbre soit par l'impact, soit par le passage de la vapeur sur les aubes fixées à l'arbre. Dans une turbine à action, la vapeur se détend dans les tuyères, ce qui a pour effet de réduire la pression et d'augmenter la vitesse. Les profils de pression. La vapeur haute vitesse est acheminée à travers la première rangée d'aubes mobiles. Celles-ci absorbent une partie de la vitesse et font tourner l'arbre. La vapeur traverse ensuite une rangée d'aubes fixes qui la redirige vers une deuxième rangée d'aubes mobiles où la vitesse de la vapeur est réduite de nouveau pour exploiter au mieux l'énergie. L'effet cumulatif des forces réactionnelles sur les aubes mobiles assure la puissance rotative communiquée à l'arbre. Une turbine Multi étagée peut comporter plusieurs rangées d'aubes fixes et mobiles tandis qu'une turbine à un seul étage ne comprend que des aubes mobiles.

Dans une turbine à réaction pure, la vapeur traverse un premier étage d'aubes fixes qui réduisent la pression et accélèrent la vapeur vers le premier étage d'aubes mobiles. Le processus se répète sur des couronnes successives d'aubes fixes et mobiles pour assurer la puissance de l'arbre.

En pratique, la plupart des turbines fonctionnent par action et réaction. Les aubes courtes traversées par de la vapeur haute pression, fonctionnent surtout par action tandis que celles plus longues traversées par de la vapeur basse pression, fonctionnent surtout par réaction. La plupart des turbines à vapeur alimentant les compresseurs, les ventilateurs, les pompes et les petits générateurs comprennent de une à trois rangées d'aubes fonctionnant surtout par action. [6]

I.4.2.5. Avantages et désavantages des turbines à vapeur :

a. Avantages :

Lorsqu'une usine est bien alimentée en vapeur, l'installation de la turbine à vapeur peut être plus économique que celle de gros moteurs électriques ou de turbines à gaz. La puissance de sortie des turbines à vapeur est plus élevée que celle des turbines à gaz de taille et de consommation énergétique similaires. Lorsqu'il y a une entente avec la compagnie d'électricité. Des alternateurs électriques entraînés par turbine peuvent être utilisés pour fournir une partie de la puissance électrique d'une usine de procédés pendant les charges de pointe et fournir de la puissance à la compagnie d'électricité à d'autres moments. La turbine et les générateurs de vapeur fonctionnent ainsi à leur maximum. De plus, la rentabilité du projet devient intéressante si les taux de l'énergie primaire sont appropriés et qu'il y a possibilité de vendre la puissance de réserve. Il existe une vaste gamme de turbine à vapeur ; certains modèles sont dotés d'arbre communs et de pompes pour répondre à des exigences industrielles et électriques.

b. Désavantages :

Les turbines à vapeur présentent les désavantages suivants : nécessité d'un raccord permanent à une source de vapeur fiable, nécessité d'une vapeur de très haute qualité et du contrôle de la qualité de l'eau d'alimentation, possibilité d'endommager les équipements lorsque la vapeur transporte des impuretés (y compris de l'eau) et méthodes de démarrage du système particulières. [4]

I.5. Turbine à gaz DR 990 : [1]

I.5.1. Le rôle du Turbocompresseur KT501 :

Dans les unités de traitement de Gaz comme l'UTG Guellala, le propane est utilisé comme agent réfrigérant dans des circuits fermés appelés (boucles de propane).

Il échange ses frigories avec les effluents chauds à travers des appareils appelés (échangeurs de chaleurs ou refroidisseur à propane); à cette lumière, le rôle du turbocompresseur KT 501 est de comprimer le propane C3 jusqu'à une pression convenable à assurer une bonne circulation dans le boucle de propane est un boucle échange thermique avec le gaz de procédé à fin d'avoir une bonne séparation entre constituants du GAZ.

Le rôle de la turbine DR990 : elle entraine le compresseur K501. [1]

I.5.2. Description de la turbine à gaz DR990 :

La turbine à gaz DR990, a une constitution modulaire afin de faciliter le remplacement des éléments usés et de diminuer le temps d'intervention sur site.

Sa puissance nominale est de 4400 KW. [1]

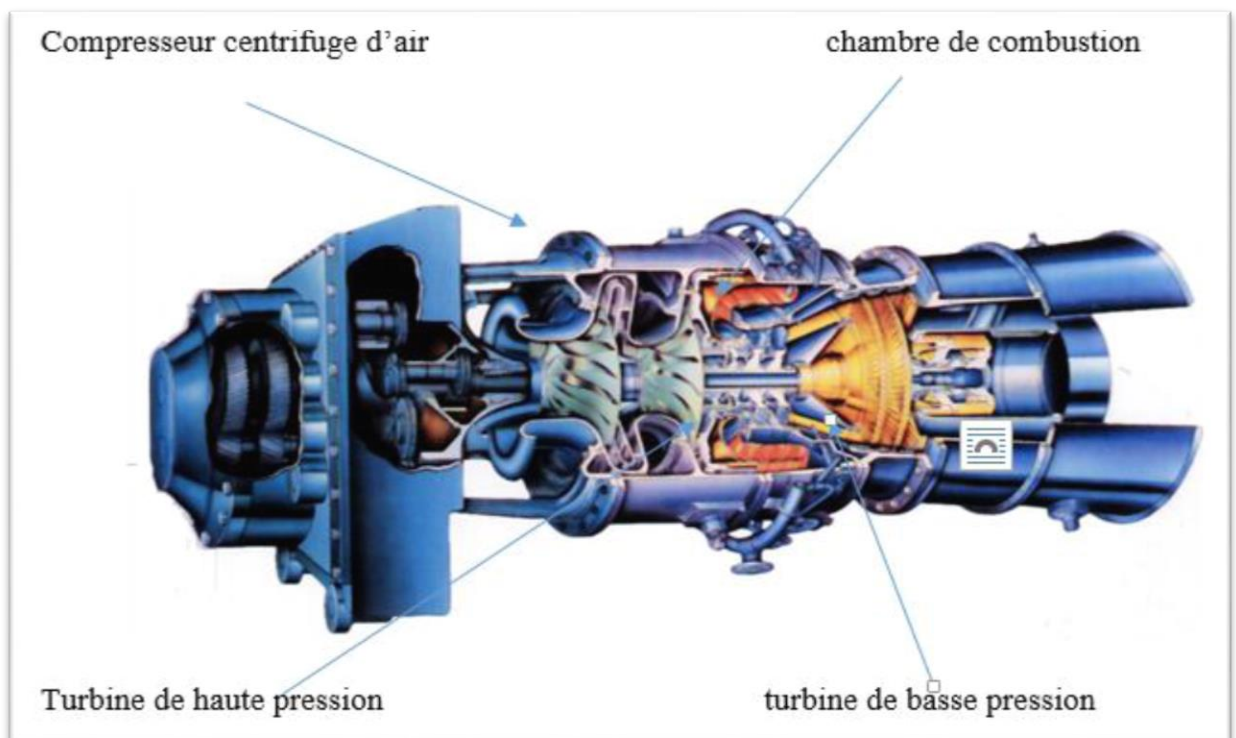


Figure I.10 : Vue d'ensemble de turbine à gaz DR 990. [1]

Elle se compose de (Figure I.10) :

- Système d'admission.
- Génératrice de gaz.
- Turbine axiale de puissance.
- Système d'échappement.

I.5.2.1. Système d'admission :

Le but du système d'admission d'une turbine à gaz est de :

- ✓ Diriger l'air de combustion vers la section d'admission du compresseur.
- ✓ Alimenter le turbomoteur par la quantité demandée d'air avec le minimum de perte de charge (pression totale) et avec un maximum d'homogénéité de répartition de pression totale sur la section d'entrée compresseur.
- ✓ Débarrasser l'air admis des impuretés en suspension (poussière) qui peuvent endommager les parties tournantes (compresseur, turbine...).

Le système d'admission de la turbine à gaz comprend les éléments principaux (Figure I.11) suivants :

- ✓ Filtre d'air.
- ✓ Conduit.
- ✓ Silencieux.
- ✓ Coude.
- ✓ Caisse d'admission.

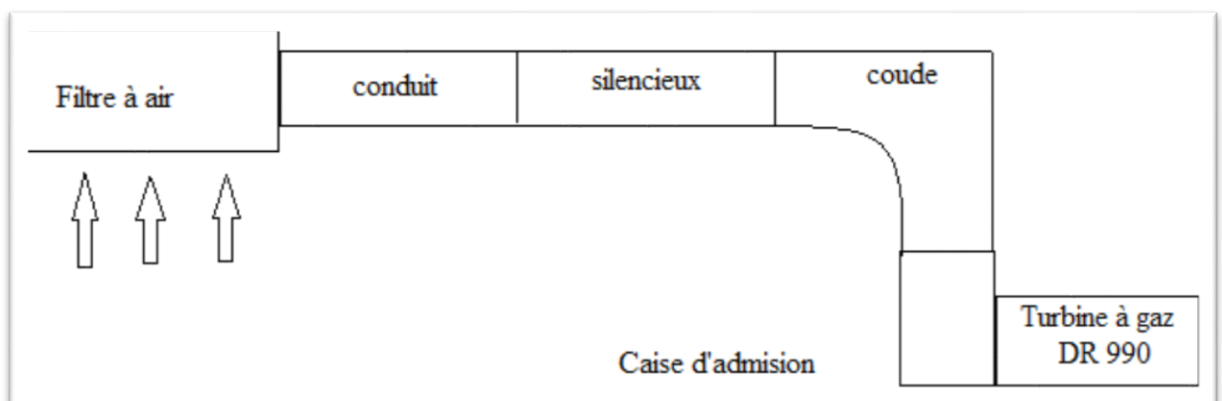


Figure I.11 : Système typique d'admission. [1]

I.5.2.2. Génératrice de gaz :

Elle est composée de trois éléments essentiels (Figure I.10) :

- Compresseur centrifuge.

- Chambre de combustion.
- Turbine de haute pression.

I.5.2.2.1. Compresseur centrifuge :

Le compresseur centrifuge est composé de deux étages constituant le rotor (Figure I.10) :

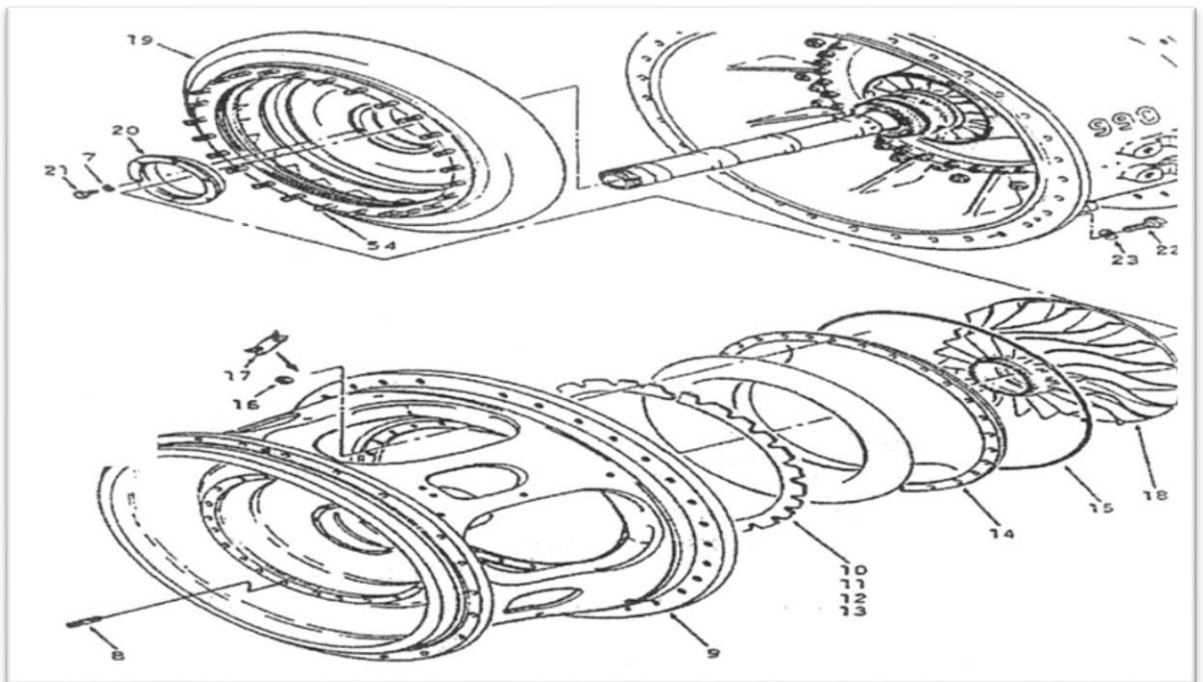
Chaque étage est composé de :

a. Un impulseur :

La rotation de l'impulseur permet d'aspirer l'air de la caisse d'admission. L'air est ensuite envoyé radialement à travers les espaces disponibles entre les aubes puis à travers le diffuseur en sortant de ce dernier à très grande vitesse.

b. Un diffuseur :

Le diffuseur est un conduit divergent qui entoure l'impulseur. Il convertit la grande vitesse, acquise par l'air dans l'impulseur, en pression.



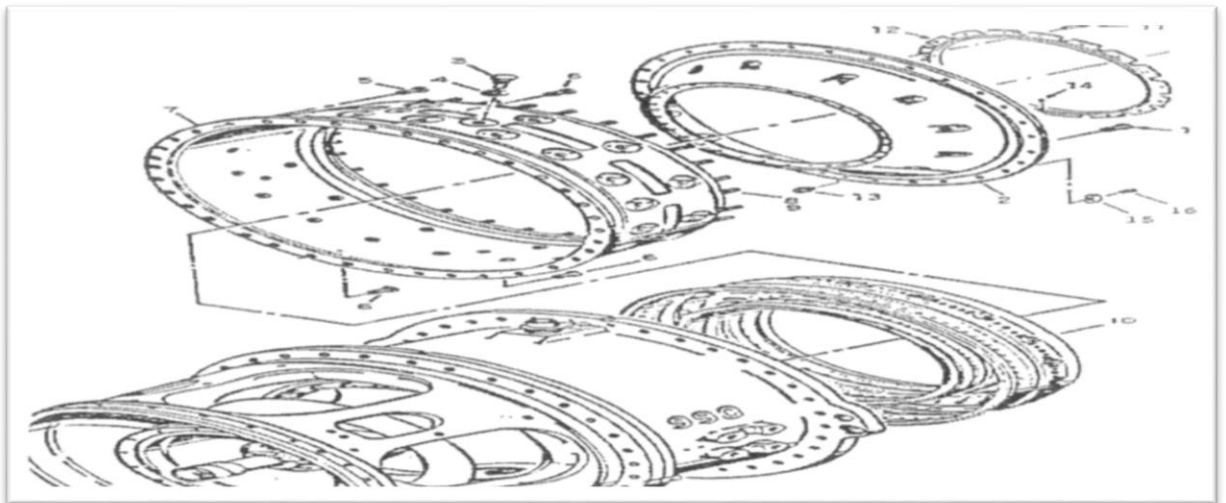
- | | |
|------------------------------|-----------------------|
| 7,23 : rondelle | 18 : roue compresseur |
| 19 : diffuseur | 14,20 : virole |
| 21,22 : boulon mécanique | 9 : logement |
| 10, 11, 12,13 : cale de roue | |

Figure I.12 : Ensemble générateur de gaz (extrémité avant). [1]

I.5.2.2.2. Chambre de combustion :

La chambre de combustion est de type annulaire, fixée sur le carter. L'air provenant du deuxième étage du compresseur centrifuge passe à travers des fentes (air primaire) et des trous (air secondaire).

L'air primaire est mélangé avec le gaz naturel qui arrive lui à travers 18 buses injectrices introduites dans la chambre par des trous disponibles à des distances égales sur la circonférence. L'allumage est assuré par deux bougies disposées diagonalement (180°). L'air secondaire sert au refroidissement du métal.



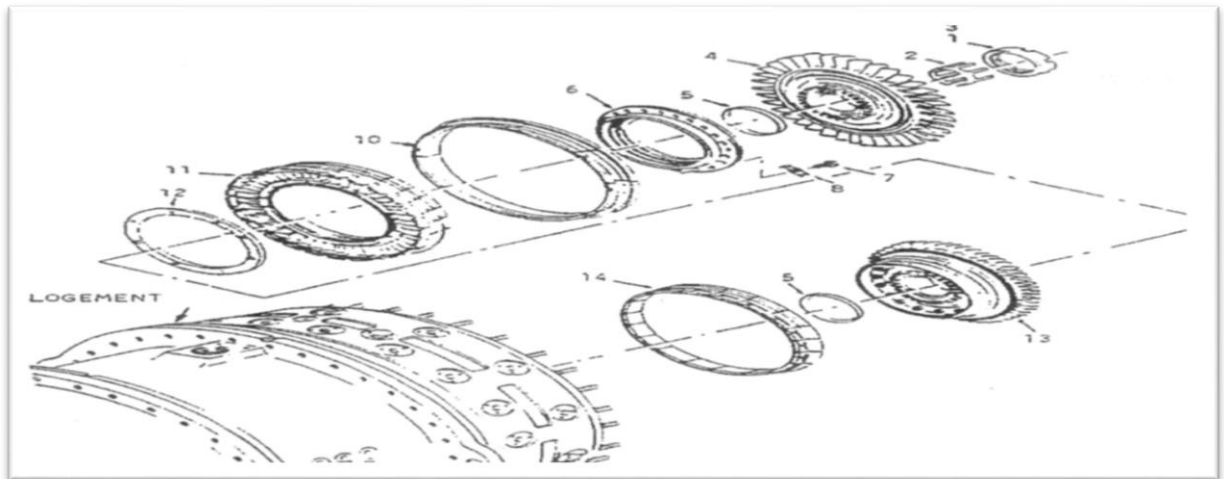
1, 3, 5, 6, 11 : boulon	10 : chambre de combustion
12 : dispositif de retenue	16 : vis à tête
2 : support	7 : carter
8 : bague de blocage	13 : écrou
14 : goujon droit	4 : rondelle
15 : clavette	

Figure I.13 : Chambre de combustion du générateur de gaz. [1]

I.5.2.3. Section turbine :

I.5.2.3.1. Turbine de haute pression :

La turbine à haute pression est composée de trois étages montés sur le même arbre du compresseur centrifuge. Elle assure une première détente des gaz brûlés en produisant l'énergie mécanique nécessaire à l'entraînement du compresseur (figure I-10).

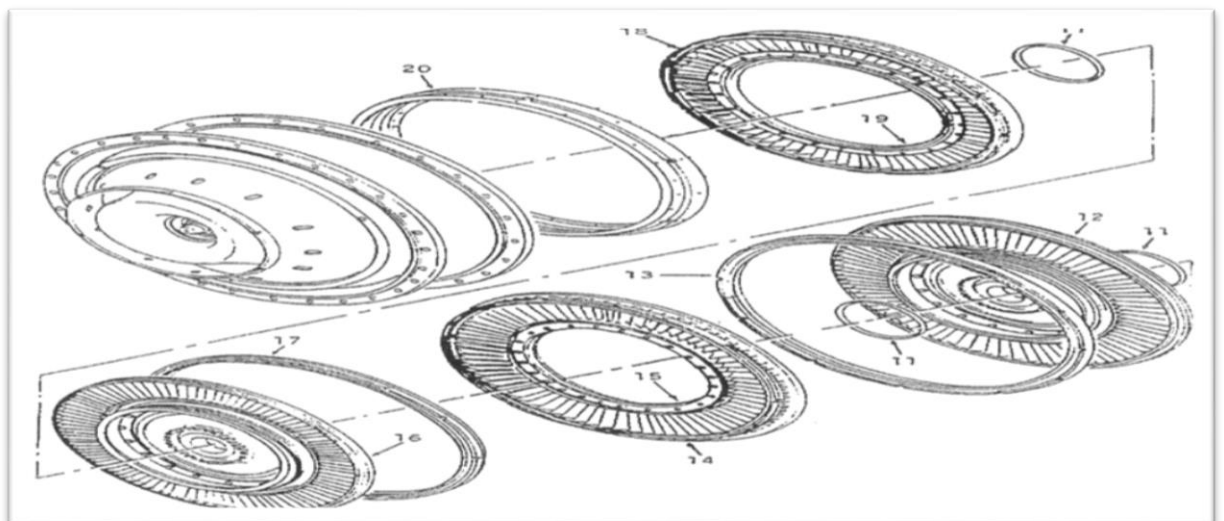


- | | |
|-----------------------|------------|
| 1 : écrou cylindrique | 5 : bague |
| 2 : clavette multiple | 6 : joint |
| 4 : ensemble roue | 7 : boulon |

Figure I.14 : Ensemble générateur de gaz (extrémité arrière).

I.5.2.3.2. Turbine de puissance :

La turbine de puissance est composée de trois étages, montés sur un deuxième arbre qui est celui de la machine réceptrice. Elle assure une deuxième détente des gaz brûlés en livrant l'énergie mécanique nécessaire à la rotation de la machine réceptrice.



- | | |
|---------------------|------------------------|
| 11 : bague | 15,19 : ensemble joint |
| 12,16 : disque-pale | 17 : segment virole |
| 13 : segment | 20 : bague de retenue |
| 14,18 : stator | |

Figure I.15: Ensemble turbine de puissance. [1]

I.5.2.4. Section d'échappement :

Le système d'échappement sert à expulser à l'atmosphère, les gaz d'échappement après la détente dans la turbine à gaz. Le système d'échappement d'une turbine à gaz comprend les éléments principaux suivants :

- Caisse d'échappement.
- Silencieux d'échappement.
- Cheminée.

I.5.3. Caractéristique d'une turbine à gaz DR 990 :[1]

- N° DE SERIE..... C21-583A
- MARQUE :DRESSER RAND
- Vitesse d'arbre :
 - Générateur de gaz (Turbine HP) :.....18115 tr/min
 - Turbine de puissance (Turbine BP) :.....7200 tr/min
- Température d'admission :..... Ambiante
- **Section de compresseur :**
 - Flux :.....radial
 - Nombre d'étages :.....02 (deux)
- **Section Combustion :**
 - Type :.....Une chambre de combustion
 - Bougies :.....02(deux) bougies
 - Détecteur de flamme :.....2 (deux)
- **Section Turbine :**
 - Nombre d'étage :.....2(deux) arbres
- Système de démarrage :.....Démarrreur pneumatique à gaz.

I.5.4. Conclusion:

Les turbines à gaz jouent un rôle important dans les systèmes de production de puissance de l'entreprise. Ces machines connaissent un développement remarquable justifié par leur fiabilité et simplicité d'exploitation.

Bien que de nombreux avantages de ces équipements, leur haute sensibilité à l'influence de variation des paramètres de fonctionnement de l'usine et des paramètres de l'environnement fait que le rendement de ces machines se trouve affecté, et peuvent provoquer des pannes inattendues, voir même augmenter la séquence et la diversité des pannes.

Cela nous mène à consacrer le chapitre II pour l'étude de la fonction maintenance.



Chapitre II

Généralité sur la fiabilité, Maintenabilité et la disponibilité

II.1. Introduction :

La maintenance industrielle, qui a pour but d'assurer le bon fonctionnement des outils de production, est une fonction stratégique dans les entreprises. Intimement liée au continuel développement technologique, à l'apparition de nouvelles méthodes et organisations, 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 les pannes mais aussi de prévoir et d'éviter les dysfonctionnements.

Dans ce chapitre, nous allons tout d'abord rappeler quelques notions et généralités sur la maintenance; définition, rôle, objectifs, et type de maintenance. Nous présenterons en suite une étude théorique sur le concept FMD en ce basant sur les lois et les méthodes utilisées dans ce domaine.

II.2. Définition de la maintenance :

D'après la norme AFNOR X60-010, la maintenance est définie comme " l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé ".

Maintenir c'est donc effectuer des opérations (de nettoyage, graissage, visite, réparation, révision, amélioration...etc.) qui permettent de conserver le potentiel du matériel pour assurer la continuité et la qualité de production.

Ainsi que choisir les moyens de prévenir, de corriger ou de rénover suivant l'utilisation du matériel. L'état d'esprit de la maintenance est de maîtriser les interventions.

La maintenance a pour but :

- Le maintien du capital machine
- La suppression des arrêts et des chutes de production (garantir la capacité de livraison)
- L'amélioration de la sécurité et la protection du personnel et de l'environnement. [8]

II.3. Le rôle de la maintenance :

Pendant longtemps, la maintenance est considérée par les gestionnaires plus comme une fatalité qu'un ensemble d'activités ayant pour d'accomplir toutes les taches nécessaires pour que l'équipement soit maintenu ou rétabli dans un état spécifié ou en mesure de :

- Permettre une exécution normale des opérations dans les meilleures conditions de coûts, de sécurité et de qualité (le cas de la production) ;

- Obtenir un service dans les meilleures conditions de confort et de coût (c'est le cas, par exemple, des services vendus en général mais surtout des transports, des hôpitaux).

Donc pour nous, entretenir, consiste à dépanner, réparer, réaliser des opérations préventives dont le but principal est d'assurer le fonctionnement de l'outil de production d'une manière globale entretenir c'est subir.

Outre cela le progrès technologique ainsi que l'évolution de la conception de la gestion des entreprises ont fait que la maintenance est devenue de nos jours une fonction importante de l'entreprise dont le rôle dans l'atteinte des objectifs de l'entreprise est loin d'être négligeable.

Donc la fonction maintenance est l'affaire de tous et doit être omniprésent dans les entreprises et les services. Elle est devenue un enjeu économique considérable pour tous les pays qui souhaitent disposer d'outils de production disponibles, performants.

Si l'entretien ne se traduisait que par des interventions, nous pouvons dire que la maintenance est tout autre chose. C'est d'abord un état d'esprit, une manière de penser, ensuite une discipline nouvelle dotée de moyens permettant d'intervenir dans de meilleures conditions, d'appliquer les différentes méthodes en optimisant le coût global. La maintenance vise à éviter les pannes et les temps morts que celles-ci entraînent.

La maintenance ne doit pas être perçue comme une fonction secondaire et elle doit bénéficier de toute l'attention voulue.

Actuellement la modernisation de l'outil de production impose une évolution fondamentale dans le domaine de maintenance. Cette évolution se traduit par un changement profond pour les entreprises (remplacement de la fonction entretien par la fonction maintenance), par une évolution de mentalités.

Cette mutation nécessite des structures nouvelles, des moyens nouveaux et pour le personnel un état d'esprit « Maintenance ».

Donc la maintenance désigne plusieurs catégories de travaux notamment :

- Surveillance et travaux simples (graissage etc.) généralement dévolus aux utilisateurs du matériel ou des installations;
- Contrôle de fonctionnement et travaux plus complexes que les précédents, souvent effectués par spécialistes;
- Dépannage et réparation en cas d'incident confiés à des ouvriers ou équipes spécialisées.

- Entretien systématique comportant des révisions partielles ou totales, faites sur place ou dans un atelier spécialisé;
- Reconstruction complète de machines ou d'installations, constituant une véritable remise à neuf.

II.4. Objectifs de la maintenance :

Assurer le maintien (disponibilité) des équipements de production et diminuer les pannes car ces dernières occasionne :

- Coûts de maintenance (intervention)
- Coûts d'indisponibilité (non production)
- Problèmes de sécurité (biens et personnes)

La maintenance intègre également :

- Amélioration de la sécurité des biens et des personnes,
- Intégration de nouveaux biens,
- Organisation des activités de maintenance,
- L'animation et l'encadrement des équipes d'intervention [8]

II.5. Les niveaux de maintenance :

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

- **niveau 1** : réglages simples sans démontage, rondes et surveillance pendant la marche.
- **niveau 2** : dépannage par échange standard d'éléments prévus à cet effet et opérations mineures.
- **niveau 3** : identification et diagnostic de pannes, réparation ou remplacement d'éléments fonctionnels.
- **Niveau 4** : travaux de maintenance corrective ou préventive nécessitant des démontages importants.
- **niveau 5** : rénovation, reconstruction, modifications importantes faisant appel à une main-d'œuvre qualifiée.

II.6. Types de maintenance :

Il existe plusieurs façons d'organiser les actions de maintenance pour obtenir la disponibilité maximale du matériel au coût minimum. Il en ressort les types de maintenance suivants :

- la maintenance corrective
- la maintenance préventive

➤ la maintenance prédictive

II.6.1. Maintenance corrective :

L'opération de maintenance intervient après défaillance. C'est l'attitude qui consiste à attendre la panne pour procéder à une intervention. Elle peut se décomposer en deux branches: la maintenance palliative et la maintenance curative.

a. Maintenance palliative : l'action de dépannage permet de remettre provisoirement le matériel à un niveau de performance acceptable mais inférieur au niveau optimal.

b. Maintenance curative : l'intervention qui suit la défaillance permet le rétablissement du niveau de performance optimal du matériel. [2]

II.6.2. Maintenance préventive :

Les interventions de maintenance sont déclenchées avant les défaillances en fonction d'un paramètre. On cherche alors à tendre vers un taux de défaillance nul en effectuant le maintien du niveau de performance requis avant l'apparition du défaut. Elle se décompose en deux branches : la maintenance systématique et la maintenance conditionnelle. [2]

II.6.2.1. Maintenance systématique :

Le paramètre déclencheur est le temps, que ce soit le temps réel (quel que soit le temps de fonctionnement de la machine) ou le temps de marche. Les interventions sont déclenchées suivant un échancier de visites intervenant avant la défaillance supposée. Le calcul des intervalles entre visites « MTBO » est étudié au paragraphe 3.

II.6.2.2. Maintenance conditionnelle :

Le ou les paramètres déclencheurs

Sont des paramètres de fonctionnement dont les valeurs sont représentatives du niveau de performance de la machine. On fixe généralement des seuils maximaux admissibles à partir desquels l'opération de maintenance est déclenchée.

Maintenance systématique et maintenance conditionnelle peuvent être utilisées conjointement en complément l'une de l'autre.

II.6.3. Maintenance prédictive :

Son objectif est de pouvoir établir un diagnostic d'état du matériel à un instant donné pour en déduire une durée de vie probable sans panne. On doit pouvoir prévoir et effectuer les opérations de maintenance les plus rapides et les moins onéreuses juste avant l'apparition d'une défaillance.

Les informations fournies par les outils de la maintenance conditionnelle peuvent être utilisées mais doivent être regroupées, ordonnées, corrélées. Seul un outil informatique tel qu'un système expert permet une gestion efficace tant au niveau de la synthèse de l'information collectée, des interactions entre les différents paramètres, de l'arborescence des causes de défaillances, qu'à l'élaboration d'éléments de décision permettant de limiter les opérations de maintenance au résultat requis.

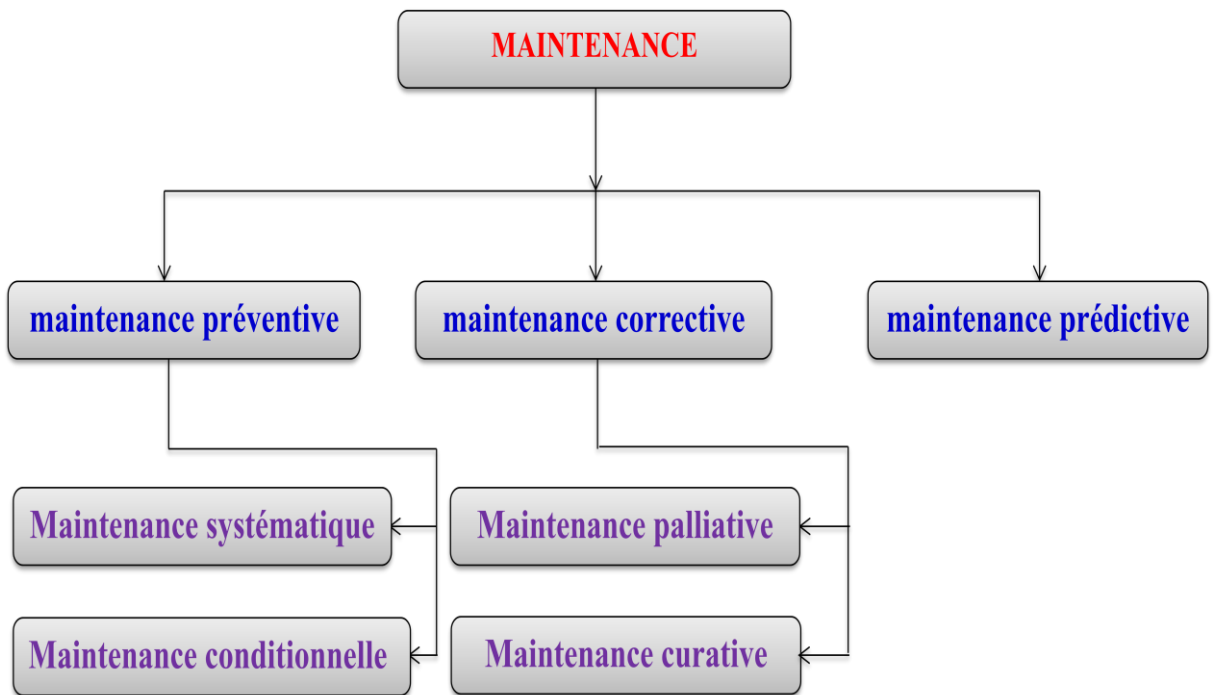


Figure II.1 : Différents Types De Maintenance.

II.7. Les opérations de maintenance :**II.7.1. Le dépannage :**

C'est une action ou opération de maintenance corrective sur un équipement en panne en vue la remettre en état de fonctionnement.

Cette action de dépannage peut s'accommoder de résultats provisoires et de conditions de réalisation hors règles de procédures, de cout et de qualité, et dans ce cas sera suivie de la réparation.

Souvent les interventions de dépannage sont de courtes durées mais peuvent être nombreuses et n'exigent pas la connaissance du comportement des équipements et des modes de dégradation.

II.7.2. La réparation : C'est une intervention définitive et limitée de maintenance corrective après panne ou défaillance. L'équipement réparé doit assurer les performances pour les quelles il a été conçu.

II.7.3. Les inspections : Ce sont des activités de surveillance consistant à relever périodiquement des anomalies et exécuter des réglages simples ne nécessitant pas d'outillage spécifique ni d'arrêt de l'outil de production ou des équipements.

II.7.4. Les visites :

Ce sont des opérations de surveillance qui dans le cadre de la maintenance préventive systématique, s'opèrent selon une périodicité prédéterminée.

Ces interventions correspondent à une liste d'opérations définies au préalable qui peuvent entraîner d'organes et une immobilisation du matériel.

II.7.5. Les contrôles :

Ils correspondent à des vérifications de conformité par rapport à des données préétablies suivis d'un jugement.

Le contrôle peut, comporter une activité d'information, inclure une décision, acceptation, rejet ajournement, déboucher comme les visites sur des opérations de maintenance corrective.

Les opérations de surveillance (inspection, visite, contrôle) sont nécessaires pour maîtriser l'évolution de l'état réel du bien, effectuées de manière continue ou a des intervalles prédéterminés ou non, calculés sur le temps ou le nombre d'unités d'usage.

II.7.6. Les révisions :

Ensemble des actions d'examen, de contrôle des interventions effectuées en vue d'assurer le bien contre toute défaillance majeure ou critique, pendant un temps ou pour un nombre d'unités d'usage donné.

Il est d'usage de distinguer suivant l'étendue de cette opération les révisions partielles, des révisions générales. Dans les deux cas, cette opération implique la dépose de différents sous-ensembles. [2]

II.8. Loi de Pareto et la courbe ABC :**II.8.1. Diagramme de Pareto:**

Le diagramme de Pareto est un outil statistique qui permet d'identifier l'importance relative de chaque catégorie dans une liste d'enregistrements, en comparant leur fréquence d'apparition. Un diagramme de Pareto est mis en évidence lorsque 20 % des catégories produisent 80 % du nombre total d'effets. Cette méthode permet donc de déterminer rapidement quelles sont les priorités d'actions. Si on considère que 20 % des causes représentent 80% des occurrences, agir sur ces 20 % aide à solutionner un problème avec un maximum d'efficacité.

II.8.2. Définition de la méthode ABC:

La méthode ABC est un moyen objectif d'analyse, elle permet de classer les éléments qui représentent la fraction la plus importante du caractère étudié, en indiquant les pourcentages pour un caractère déterminé.

II.8.3. But de la méthode ABC :

L'exploitation de cette loi permet de déterminer les éléments les plus pénalisants afin d'en diminuer leurs effets:

- Diminuer les coûts de maintenance.
- Améliorer la fiabilité des systèmes. Justifier la mise en place d'une politique de maintenance.

II.9. Etude de FMD :**II.9. 1. La fiabilité:**

Définition selon la NF X 06-501 : la fiabilité est la caractéristique d'un dispositif exprimée par la probabilité que ce dispositif accomplisse une fonction requise dans des conditions d'utilisation données et pour une période de temps déterminée. [8]

a. fiabilité intrinsèque : elle est propre à un matériel et à un environnement donné et ne dépend que de ce matériel.

b. fiabilité extrinsèque : elle résulte des conditions d'exploitation, de la qualité de la maintenance, d'une manière générale d'événement relatif à l'intervention humaine. [8]

II.9.1.1. Objectifs de la fiabilité :

La fiabilité a pour objectif de :

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

II.9.1.2. Principales lois de probabilité utilisées en fiabilité :

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

II.9.1.2.1. La loi exponentielle :

Elle est la plus couramment utilisée en fiabilité électronique pour décrire la période durant laquelle le taux de défaillance des équipements est considéré comme constant. Elle décrit le temps écoulé jusqu'à une défaillance, ou l'intervalle de temps entre deux défaillances successives.

II.9.1.2.2. La loi de WEIBULL :

C'est une loi continue à trois paramètres, donc d'un emploi très souple. En fonction de la valeur de ses paramètres, elle peut s'ajuster à toutes sortes de résultats expérimentaux. Cette loi a été retenue pour représenter la durée de vie des pièces

II.9.1.2.3. La loi normale :

C'est une loi continue à deux paramètres; la valeur moyenne et l'écart type caractérise la dispersion autour de la valeur moyenne. Elle est la plus ancienne, utilisée pour décrire les phénomènes d'incertitudes sur les mesures, et ceux de fatigue des pièces mécaniques. [2]

II.9.1.2.4. La loi log-normale (ou loi de GALTON):

Soit une VA continue positive ; si la variable $y = \text{Log}x$ est distribuée selon une loi normale, la variable x suit une loi log-normale. De nombreux phénomènes de mortalité ou de durée de répartition sont distribués selon des lois log-normale. [2]

II.9.1.2.5. La loi binomiale :

La loi binomiale est une loi discrète. On l'applique pour décrire un phénomène ayant deux occurrences s'excluant mutuellement (succès ou échec, état défaillant ou en fonctionnement par exemple). En fiabilité cette loi représente la probabilité de voir k défaillances de matériels lors de l'exécution de n essais, sachant que la probabilité élémentaire de défaillance d'un matériel est P . [2]

-Sa variance :

$$V = nP(1 - P)$$

-Son écart type :

$$\sigma = \sqrt{nP(1 - P)}$$
II.9.1.2.6. La loi de POISSON ou loi de faibles probabilités :

La réalisation d'évènements aléatoires dans le temps se nomme « processus de POISSON » et caractérise une suite de défaillances indépendantes entre elles et indépendantes du temps.

La loi de POISSON est une loi discrète, elle exprime la probabilité d'apparition d'un évènement lorsque celui-ci peut se manifester de nombreuses manières mais avec une faible probabilité.

Ses paramètres sont, en posant Sa variance : $m = \lambda t$

• Sa fréquence :

$$\text{Pr}[x = k] = \frac{m^k}{k!} e^{-m}$$

• Sa fonction de répartition :

$$F(x) = \sum_{k=0}^x \frac{m^k}{k!} e^{-m}$$
II.9.1.3. paramètres nécessaires alla mesure de fiabilité :**II.9.1.3.1. Densité de probabilité :**

La densité de probabilité de l'instant de la défaillance T s'obtient en dérivant la fonction de répartition $F(t)$:

$$f(t) = \frac{df(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt}$$

II.9.1.3.2. Fonction de répartitions :

C'est la probabilité pour que le dispositif soit en panne à l'instant t_i

$$F(t_i) = \Pr(T < t_i)$$

Notons que ces deux fonctions sont complémentaires :

$$F(t) + R(t) = 1$$

II.9.1.3.3. La fonction de fiabilité : nous appelons $R(t)$ la fonction de fiabilité, qui représente la probabilité de fonctionnement sans défaillances pendant un temps (t) , ou la probabilité de survie jusqu'à un temps (t) .

La probabilité d'avoir au moins une défaillance avant le temps (t) , qui représente la probabilité cumulative des défaillances, est appelé : « probabilité de défaillance ».

II.9.1.3.4. Taux de défaillance :

Prenons maintenant une pièce ayant servi pendant une durée t et encore survivante.

La probabilité qu'elle tombe en panne entre l'âge t qu'elle a déjà et l'âge $T + dt$ est représentée par la probabilité conditionnelle qu'elle tombe en panne entre T et $T + dt$, sachant qu'elle a survécu jusqu'à T . D'après le théorème des probabilités conditionnelles cette probabilité est égale à :

$$\lambda(t) dt = \frac{F(t + dt) - F(t)}{R(t)} = \frac{dF(t)}{1 - F(t)}$$

Avec $\lambda(t)$ taux de défaillance de la pièce d'âge t .

$$\text{On a donc : } \lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$$

$\lambda(t)$ s'exprime également par l'inverse d'un temps, mais n'est pas une densité de probabilité.

L'expérience montre que pour la plupart des composants, le taux de défaillance suit une courbe en baignoire représenté sur la figure suivante :

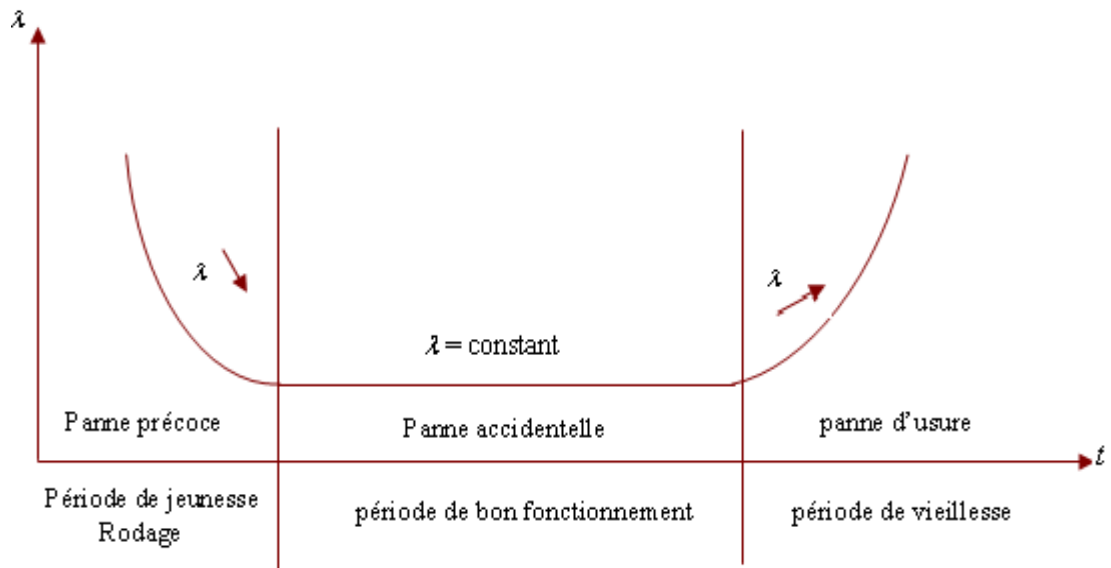


Figure II.2. Courbe en baignoire

Cette courbe représente trois périodes :

- **La période de jeunesse ou de rodage** : correspond à l'apparition de défaillances, dues à des mal façons ou à des contrôles insuffisants. Dans la pratique, le fabricant procède à un rodage de son matériel afin d'éviter que cette période ne se produise après l'achat du matériel.
 - **La période de bon fonctionnement** : dans cette période, le taux d'avaries est sensiblement constant, les avaries surviennent de manière aléatoire et ne sont pas prévisibles par examen du matériel ; ces défaillances sont dues à un grand nombre de causes et sont liées à la fabrication des dispositifs.
 - **La période de vieillissement** : le taux d'avaries est croissant, cette période correspond à une dégradation irréversible des caractéristiques du matériel, d'où une usure progressive.
- **La MTBF** :

Le temps moyen jusqu'à défaillance (ou moyenne des temps de bon fonctionnement) est :

$$MTBF = \frac{\Sigma \text{ temps de bon fonctionnement}}{\text{nombre d'intervalles de temps de bon fonctionnement}}$$

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

II.9.1.4. Loi de Weibull :

La loi de weibull est utilisée en fiabilité, en particulier dans le domaine de la mécanique.

Cette loi a l'avantage d'être très souple et de pouvoir s'ajuster à différents résultats d'expérimentations.

La loi de Weibull est une loi continue à trois paramètres :

- le paramètre de position γ qui représente le décalage pouvant exister entre le début de l'observation (date à laquelle on commence à observer un échantillon) et le début du processus que l'on observe (date à laquelle s'est manifesté pour la première fois le processus observé) ;
- le paramètre d'échelle η qui, comme son nom l'indique, nous renseigne sur l'étendue de la distribution ;
- le paramètre de forme β qui est associé à la cinétique du processus observé

- Densité de probabilité : $f(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$ avec $t \geq \gamma$

- Fonction de répartition : $F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$

- Loi de fiabilité: $R(t) = 1 - F(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$

- Taux de défaillance :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1-F(t)} = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \cdot \frac{1}{e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}} \Rightarrow \lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}$$

Remarque : si $\begin{cases} \gamma = 0 \\ \beta = 1 \end{cases} \Rightarrow \lambda(t) = \frac{1}{\eta} = \frac{1}{\text{MTBF}}$

$$a = \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \text{ et de } b = \sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)}$$

Moyenne des temps de bon fonctionnement: $\text{MTBF} = \gamma + \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$

En fonction de β ; d'où $\text{MTBF} = \gamma + a \eta$

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

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

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

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

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

Donc $\gamma = 0$ ou, en faisant le changement de variable, $t_1 = t - \gamma$, on obtient la distribution de Weibull à 2 paramètres, définie pour t (ou t_1) positif ou nul, dont les caractéristiques sont illustrés sur la (Figure II-3)

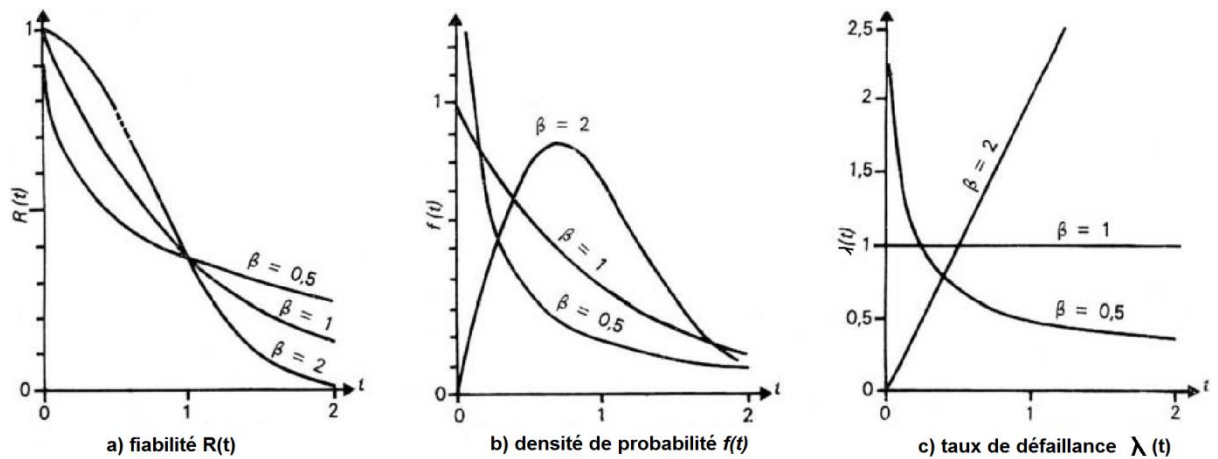


Figure II.3 : Principales propriétés de la distribution de Weibull.

II.9.1.4.1. Application à la fiabilité :

Suivant les valeurs de β , le taux de défaillance est

Soit décroissant ($\beta < 1$),

Soit constant ($\beta = 1$),

Soit croissant ($\beta > 1$).

La distribution de Weibull permet donc de représenter les trois périodes de la vie d'un dispositif (courbe de baignoire).

Le cas $\gamma > 0$ correspond à des dispositifs dont la probabilité de défaillance est infime jusqu'à un certain âge γ .

II.9.1.4.2. Estimation des paramètres de la loi de weibull :

Un des problèmes essentiel est l'estimation des paramètres (β, η, γ) de cette loi, pour cela, nous disposons de la méthode suivante :

➤ **Graphique à échelle fonctionnelle :**

Si pour la distribution de Weibull à 2 paramètres, on fait la transformation :

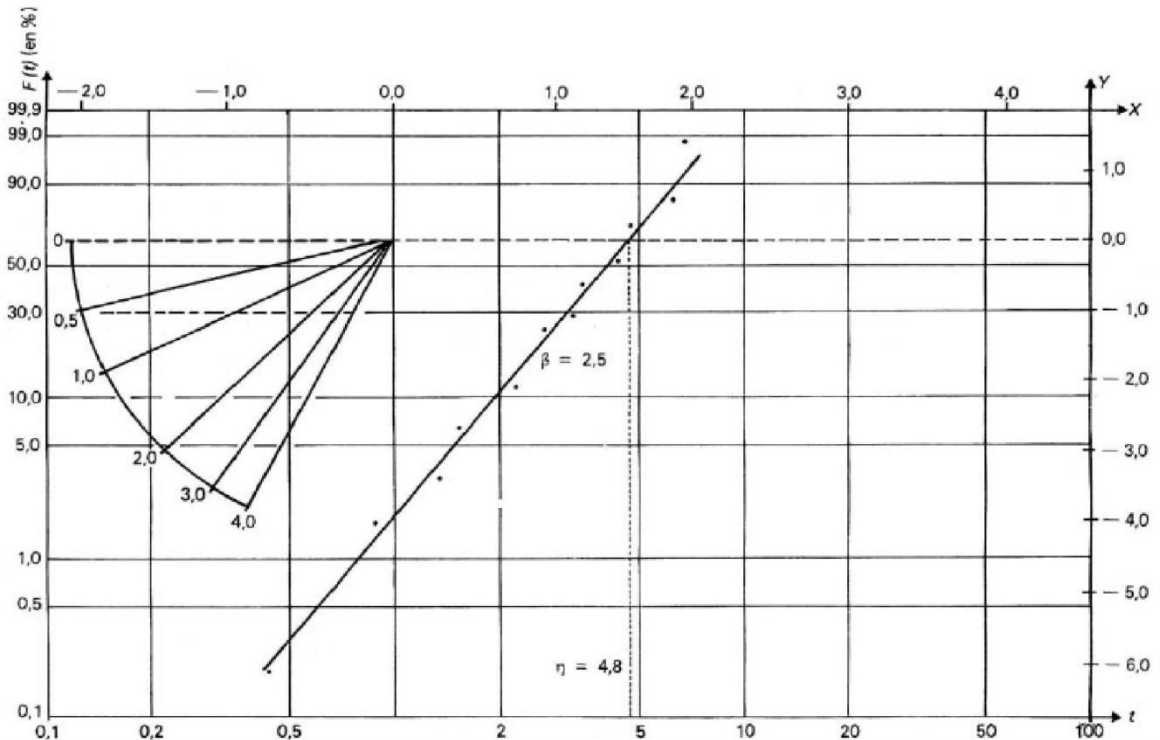


Figure II.4 : Représentation sur graphique à échelle fonctionnelle de la distribution de Weibull (graphique d'Allan Plait).

- A : Axe de t
- B : axe de F(t) (en %)
- a : Ln (t)
- b : Ln (Ln (1/ [1-F(t)]))
- X et Y : permettent de déterminer béta ($Y = \text{béta } X$)

L'historique permet de déterminer des Temps de bon fonctionnement et des fréquences cumulées de défaillance F(i), approximation de F(t).

II.9.1.4.3. Préparation des données :

- 1) Calcul des Temps de bon fonctionnement
- 2) Classement des temps de bon fonctionnement en ordre croissant
- 3) N = nombre de Temps de bon fonctionnement
- 4) Recherche des données F(i), F(i) représente la probabilité de panne au temps correspondant au Temps de bon fonctionnement de l'ième défaillant.

On a 3 cas différents :

1- Si $N > 50$, regroupement des Temps de bon fonctionnement par classes avec la fréquence cumulée :

$$F(i) = \frac{Ni}{N} = \frac{\sum Ri}{N} \approx F(t)$$

2- Si $20 < N < 50$, On affecte un rang "Ni" à chaque défaillance (approximation des rangs moyens):

$$F(i) = \frac{Ni}{N + 1} \approx F(t)$$

3- Si $N < 20$, On affecte un rang "Ni" à chaque défaillance (approximation des rangs médians):

$$F(i) = \frac{Ni - 0,3}{N + 0,4} \approx F(t)$$

Et on fait le Tracé du nuage des points M (F(i), t) :

a. Recherche de γ :

Si le nuage de points correspond à une droite, alors $\gamma = 0$. ($\gamma = 0$)

Si le nuage de points correspond à une courbe, on la redresse par une translation de tous les points en ajoutant ou en retranchant aux abscisses "t", une même valeur (γ) afin d'obtenir une droite comme le montre la figure suivante.

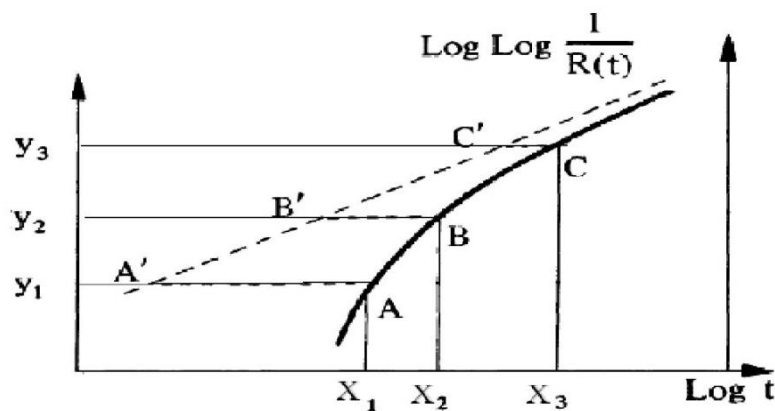


Figure II.5 : redressement de la courbe par translation.

Ce redressement peut se faire par tâtonnement ou avec la relation :

$$\gamma = \frac{X_3 * X_1 - X_2^2}{X_3 + X_1 - 2X_2}$$

Considérons les points :

A(X₁, Y₁) ; B(X₂, Y₂) ; C(X₃, Y₃)

$$\text{Et } \begin{cases} Y_3 > Y_2 > Y_1 \\ 2Y_2 = Y_1 + Y_3 \end{cases}$$

En arrangeant on obtient

$$y = X_2 - \frac{(X_3 - X_2) * (X_2 - X_1)}{(X_3 - X_2) - (X_2 - X_1)}$$

b. Recherche de η :

La droite de régression linéaire coupe l'axe A à l'abscisse $t = \eta$.

c. Recherche de β :

- béta est la pente de la droite de corrélation.
- On trace une droite parallèle à la droite de corrélation, et passant par $\eta = 1$ On lit ensuite béta sur l'axe B.

II.9.2. La maintenabilité:

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, avec des procédures et des moyens précis ».

La maintenabilité caractérise la facilité de remettre ou de maintenir un bien en bon état de fonctionnement. [2]

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

La maintenabilité est caractérisée par la moyenne des temps techniques de réparation MTTR :

$$MTTR = \frac{\sum TTR}{N}$$

II.9.2.1. Taux de réparation μ :

$$\mu = \frac{1}{MTTR}$$

La probabilité de réparation d'un composant est principalement fonction du temps écoulé depuis l'instant de défaillance. Il existe un certain délai t avant que le composant puisse être réparé. Ce délai t comprend le temps de détection et le temps d'attente de l'équipe de réparation.

Il s'y ajoute le temps de réparation proprement dit (Figure II-6) donne l'allure de la probabilité de réparation d'un composant tombé en panne en $t=0$.

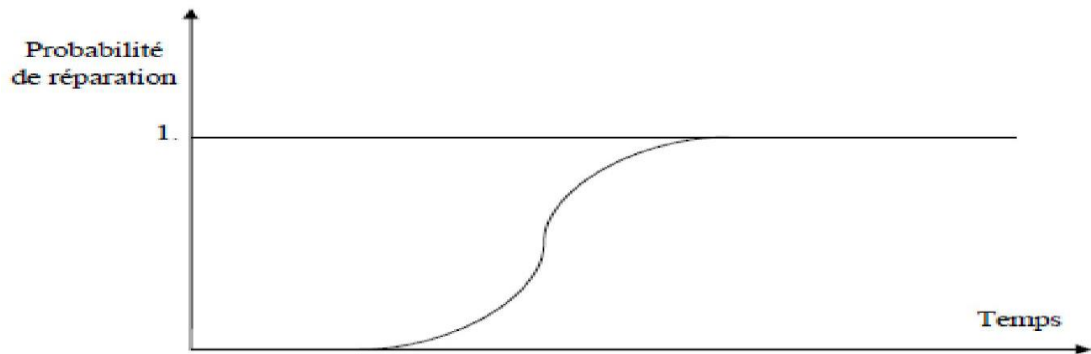


Figure II.6 : probabilité de réparation au cours de temps.

II.9.2.2. Amélioration de la maintenabilité :

L'amélioration de la maintenabilité passe par :

- le développant des documents d'aide à l'intervention,
- l'aptitude de la machine au démontage (modification, risquant de coûter chère).
- l'accessibilité.
- l'intréchangeabilité et la standardisation.
- la facilité de remplacement.
- l'aide au diagnostic.

Il assurera de ce fait la réduction des durées de détection des pannes d'état, diminuant, ainsi les TTR l'amélioration de la maintenabilité d'une manière considérable.

Le maintenancier doit améliorer la maintenabilité par les actions suivantes :

- 1- disponibilité de la documentation tenue à jour du matériel.
- 2- utilisation des systèmes d'aide au diagnostic
- 3- utilisation des capteurs intégrés pour la localisation de la panne
- 4- disponibilité des accessoires outillages

II.9.3. La disponibilité :

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

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

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

La disponibilité relie donc les notions de fiabilité et de maintenabilité. [2]

II.9.3.1. Les type de disponibilité :

II.9.3.1.1. disponibilité intrinsèque: cette disponibilité est évaluée en prenant en compte les moyennes de bon fonctionnement et les moyennes de réparation, ce qui donne

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

II.9.3.1.2. disponibilité instantanée :

Pour un système avec l'hypothèse d'un taux de défaillance λ constante et d'un taux de réparation μ constant, la disponibilité instantanée est:

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

II.9.3.2. Amélioration de la disponibilité:

- l'allongement de la *MTBF* (action sur la fiabilité).
- la réduction de la *MTTR* (action sur la maintenabilité).
- Fiabilité.
- maintenabilité.
- logistique.

II.9.4. La relation entre MUT, MTBF, et MTTR :

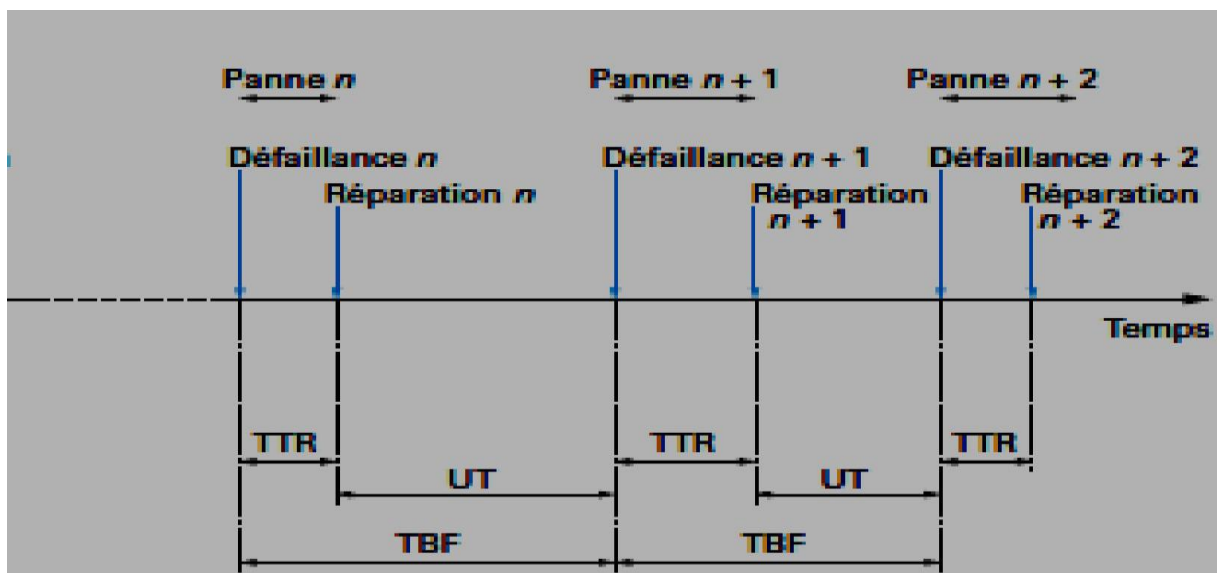


Figure II.7 : Vie d'un système : évolution dans le temps. [2]

$$MTBF = MUT + MTTR$$

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

- TTR temps de réparation,
- TBF temps de bon fonctionnement,
- UT temps entre défaillances.

II.9.5. La relation entre les notions FMD :

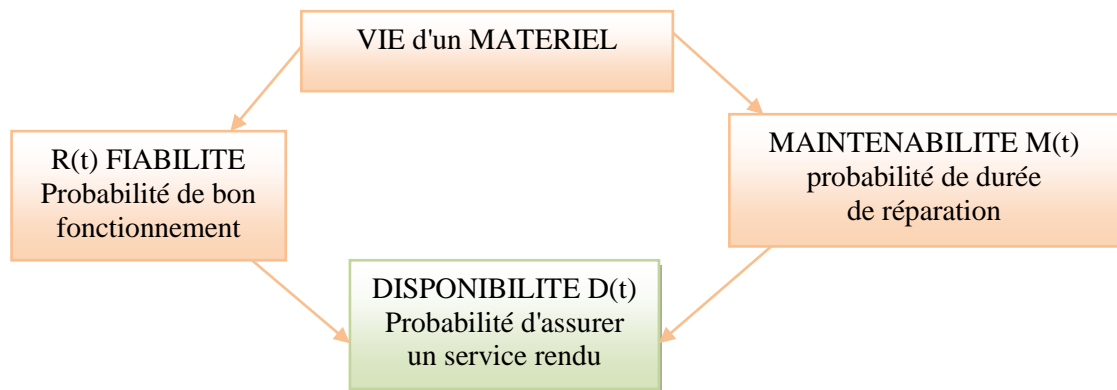


Figure II.8 : La relation entre les notions FMD. [2]

Pour qu'un matériel soit disponible il faut s'assurer que sa fiabilité est optimum et qu'il est aussi maintenable.

II.10. Conclusion :

La maintenance est une fonction essentielle de l'entreprise ; ses objectifs vont au delà de remettre en état l'outil de travail, mais surtout d'anticiper des événements qui interviennent dans un environnement d'incertitudes, et de contribuer à la performance globale du système de production.

Cela nous mène à substituer la maintenance curative par celle préventive visant à préserver la fiabilité de l'équipement, réduire les surcoûts, et assurer la qualité des produits finies. Cette maintenance préventive se traduit par la définition de plans d'actions et l'intervention sur l'équipement.

La sûreté de fonctionnement d'une machine en tenant compte de l'aspect sécurité et les critères visant à éviter un entretien fréquent, difficile et coûteux se résument en trois points connus sous la notion F.M.D. (Fiabilité_ Maintenabilité_ Disponibilité) que le concepteur d'équipement devrait tenir compte lors des études d'engineering.



Chapitre III

Analyse FMD de la turbine à gaz DR990

III.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 DR990 de faire face à l'étude expérimentale des indicateurs FMD de telle turbine tout en traçons les courbes de ces trois indicateurs.

III.2. Exploitation de l'historique :

L'historique de panne turbine ;

Le traitement des données brutes de l'historique (tableau III. 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.

N°	Date de démarrage	Date d'arrêt	TTR	TBF (h)	TA (h)	Cause
1	13/02/2010	18/10/2010	24	5952	240	- Inspection boroscopique des parties chaude. - changement des joints des thermo couples et injecteur de gaz.
2	28/10/2010	05/06/2011	06	5304	72	- Appoint d'huile pour KT501.
3	08/06/2011	31/10/2011	08	3408	120	- Changement de filtre d'aire de la turbine.
4	04/11/2011	05/05/2012	10	5064	120	- Changement de filtre d'huile étanchéité.
5	10/05/2014	20/06/2012	12	960	24	- Intervention sur circuit de graissage.
6	21/06/2012	21/06/2012	03	192	24	- Vidange d'huile de lubrification de la caisse et changement de filtre.
7	22/06/2012	12/07/2013	48	912	336	- Intervention sur moteur électrique GTG-ME-205-KT501.
8	26/07/2013	03/08/2014	15	9840	168	- Intervention sur circuit de graissage.
9	10/08/2014	26/09/2014	170	1104	1180	- révision générale sur Turbine à gaz k501.

Tableau III.1 Dossier historique de la turbine DR990

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

III.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.

N°	organe	TA (h)	Cumul TA	% TA	% cause	% cause
01	moteur électrique	336	336	30.43	14.28	14.28
02	thermo couples et injecteur de gaz.	240	576	52.17	14.28	28.56
03	circuit de graissage	192	768	69.56	14.28	42.84
04	filtre d'huile étanchéité	120	888	80.43	14.28	57.12
05	filtre d'aire de la turbine	120	1008	91.30	14.28	71.4
06	huile pour KT501	72	1080	97.82	14.28	85.68
07	lubrification de la caisse et changement de filtre.	24	1104	100	14.28	100

Tableau III.2 L'analyse ABC (Pareto)

III.3.2. La courbe d'analyse ABC :

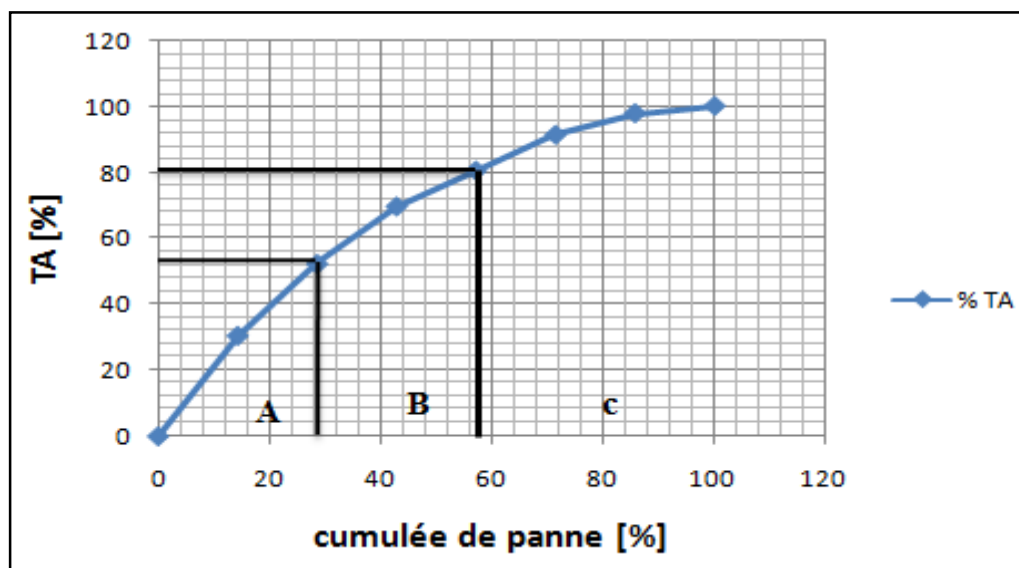


Figure III.1: La Courbe d'ABC

III.3.3. Interprétation des résultats :

Zone "A": Dans cette zone, on constat que environ 28.56% des causes représente 52.17% des heurs 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 heurs d'arrêts (filtre d'huile étanchéité, filtre d'aire de la turbine, huile pour KT501 et lubrification de la caisse et changement de filtre).

III.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 $F(i) = \frac{\sum n_i - 0,3}{N + 0,4}$ (dans notre cas $N = 9 \leq 20$) et on trace la courbe de WeiBull :

N°	TBF(h)	n	$\sum n_i$	F(i)	F(i) %
1	192	01	01	0,0744	7,44
2	912	01	02	0,1808	18,08
3	960	01	03	0,2872	28,72
4	1104	01	04	0,3936	39,36
5	3408	01	05	0,5	50
6	5064	01	06	0,6063	60,63
7	5304	01	07	0,7127	71,27
8	5952	01	08	0,8191	81,91
9	9840	01	09	0,9255	92,55

Tableau III.3: Fonction de réparation réelle

A partir de papier de weibull ou logiciel Statistics, (Fig.2).

On déduire les paramètres: β, η et γ .

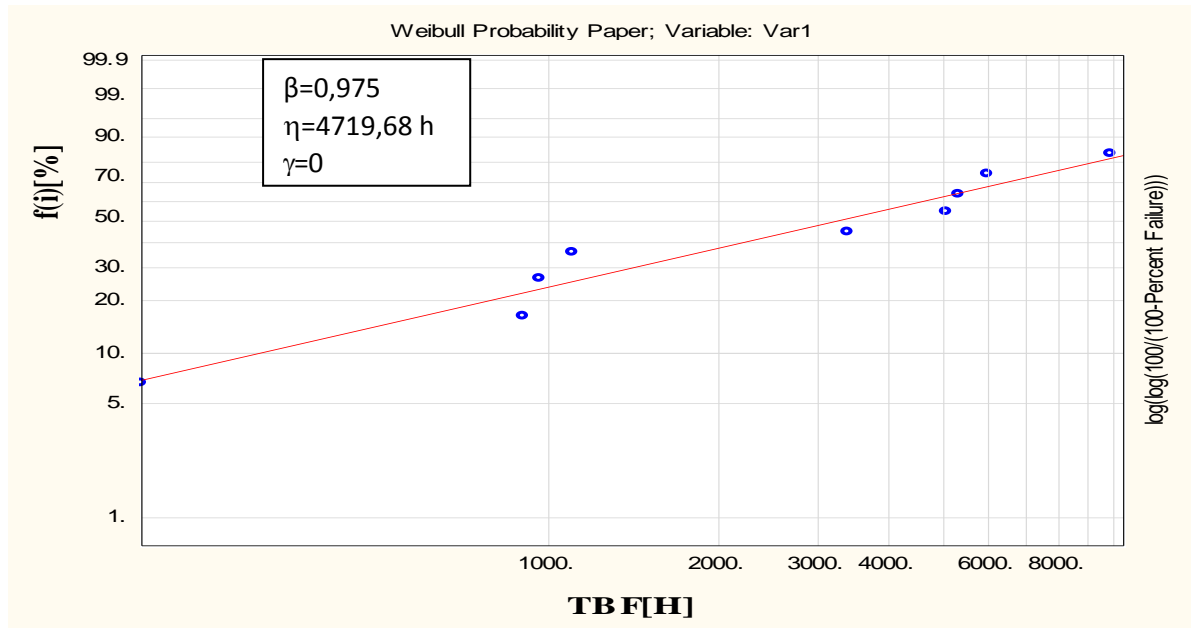


Figure III.2: papier de WeiBull. en logiciel statistica

III.4.1. Test (KOLMOGOROV SMIRNOV) :

Avant la validation de toutes les lois de fiabilité, il est nécessaire de tester l'hypothèse pour savoir si nous devons accepter ou rejeter le modèle proposé par le test de K-S avec un seuil de confiance de $\alpha = 20\%$. Ce test consiste à calculer l'écart entre la fonction théorique $F_e(t_i)$ et la fonction réelle $F(t)$ et prendre le maximum en valeur absolue $D_{n,max}$.

Cette valeur est comparée avec $D_{n,\alpha}$ Qui est donnée par la table de Kolmogorov Smirnov (voir annexe1). Si $D_{n,max} > D_{n,\alpha}$ On refuse l'hypothèse.

N°	TBF	F (i)	F(t)	$D_{N_{max}} = F(i) - F(t) $
01	192	0,0744	0.0431	0.0313
02	912	0,1808	0.1823	0.0015
03	960	0,2872	0.1907	0.0965
04	1104	0,3936	0.2153	0.1783
05	3408	0,5	0.5171	0.0171
06	5064	0,6063	0.6573	0.051
07	5304	0,7127	0.6738	0.0389
08	5952	0,8191	0.7145	0.1046
09	9840	0,9255	0.8708	0.0547

Tableau III.4: test de kolmogrov-smirnov

D'après la table de K-S:

$D_{N_{max}} < D_{N\alpha}$ Ce qui veut dire que le modèle de Weibull est accepté.

Nous avons pris la valeur maximale $D_{N_{max}} = |F(i) - F(t)|$.

$D_{N_{max}} = 0.1783$ tandis que $D_{N,\alpha} = D_{9,0.20} = 0,3399$

$0.1783 < 0,339$ donc l'hypothèse du modèle de Weibull est acceptable.

III.4.2. Exploitation les paramètres de WEIBULL :

III.4.2.1. Le MTBF :

Le tableau de MTBF donne $A = 1,0234$, $B = 1,07769$ (voir annexe tab.2).

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

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

$MTBF = 4830.124$ h.

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

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

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

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

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

III.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.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

III.5. Étude de modèle de weibull :

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

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

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

TBF(h)	192	912	960	1104	3408	5064	5304	5952	9840
f(t)x10⁻³	0,2141	0,1759	0,1739	0,1680	0,1005	0,0706	0,06717	0,0586	0,0261

Tableau III.5: Calcul la fonction de la densité de probabilité

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

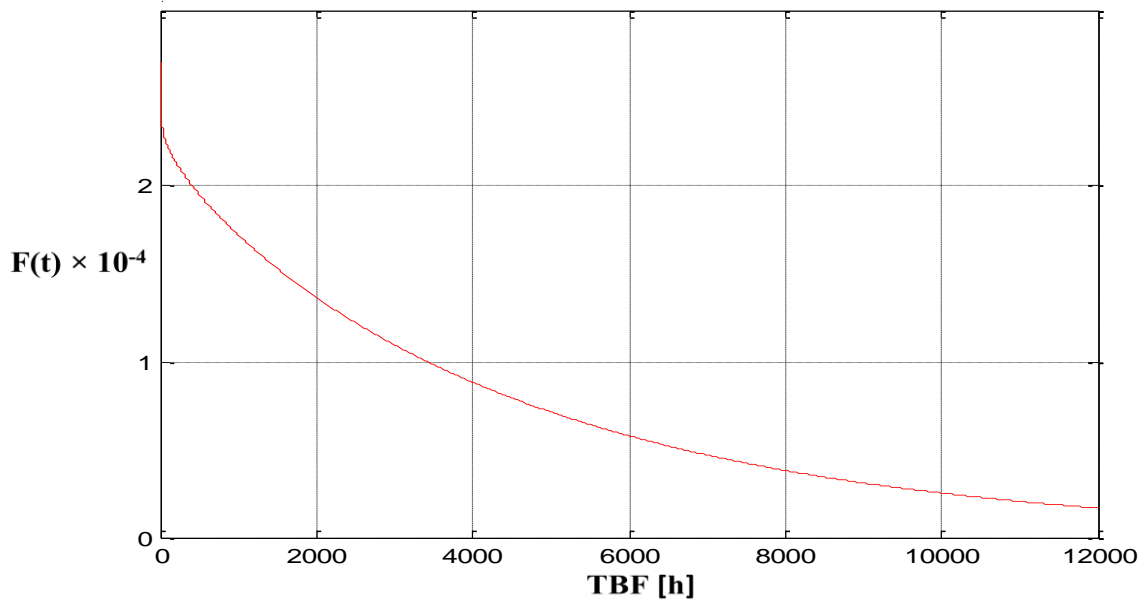


Figure III.3: La Courbe Densité De Probabilité

III.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.

III.5.2. Fonction de répartition F(t) :

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

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

Tableau III.6: Fonction de répartition F(t)

III.5.2.1. Courbe fonction de répartition F(t) :

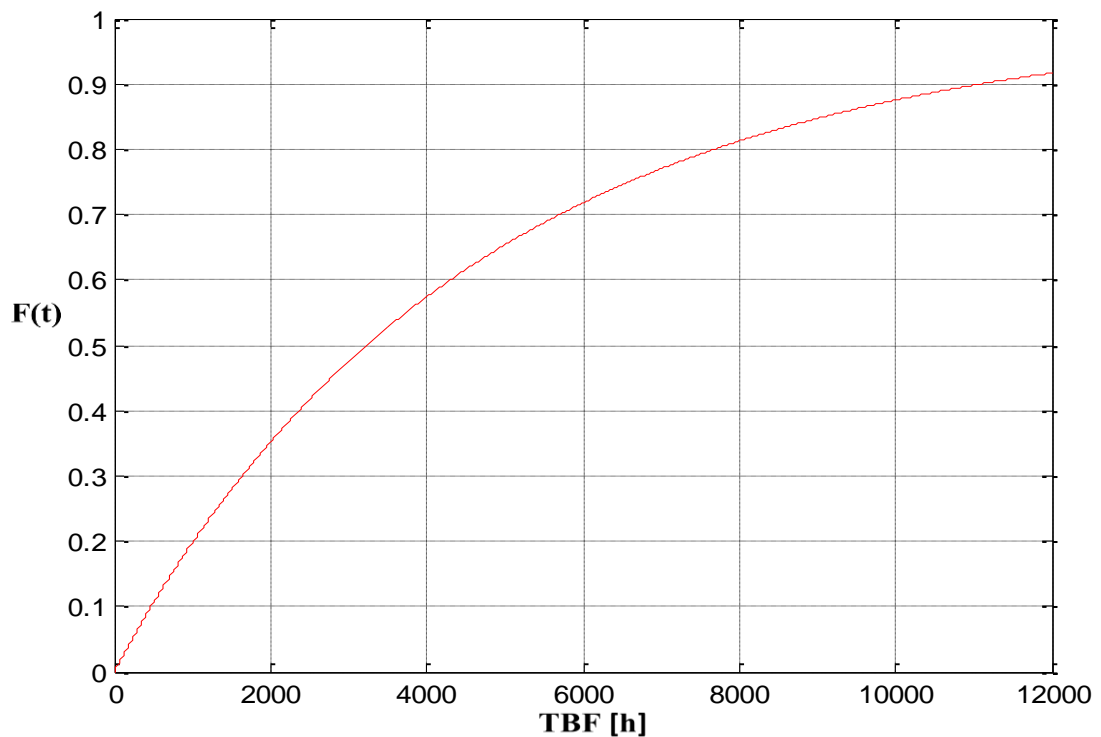


Figure III.4: La Courbe De Fonction Répartition

III.5.2.2. Analyse de la courbe :

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

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

III.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 début que la valeur n'est pas satisfaisante donc on peut dire que la turbine n'est pas fiable à $t=MTBF$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \qquad R(t=MTBF) = 0,36$$

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

Tableau III.7: Calcul de la fiabilité

III.5.3.1. Courbe de la fiabilité :

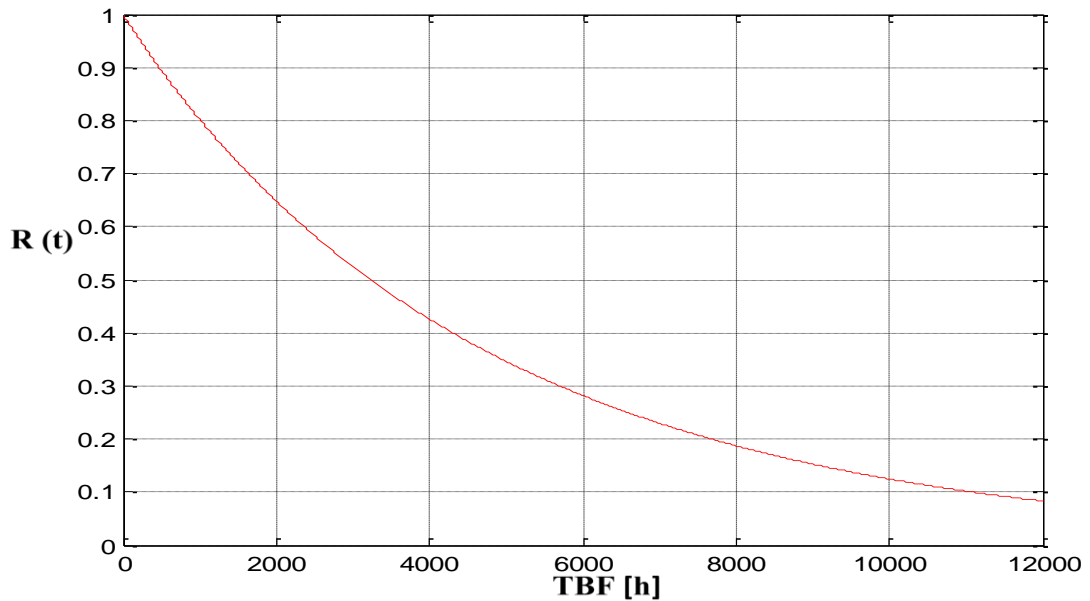


Figure III.5: La Courbe De la Fonction Fiabilité

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

III.5.4. Le taux de défaillance :

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

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

Tableau III.8: Calcul le taux de défaillance

III.5.4.1. Courbe du taux de défaillance :

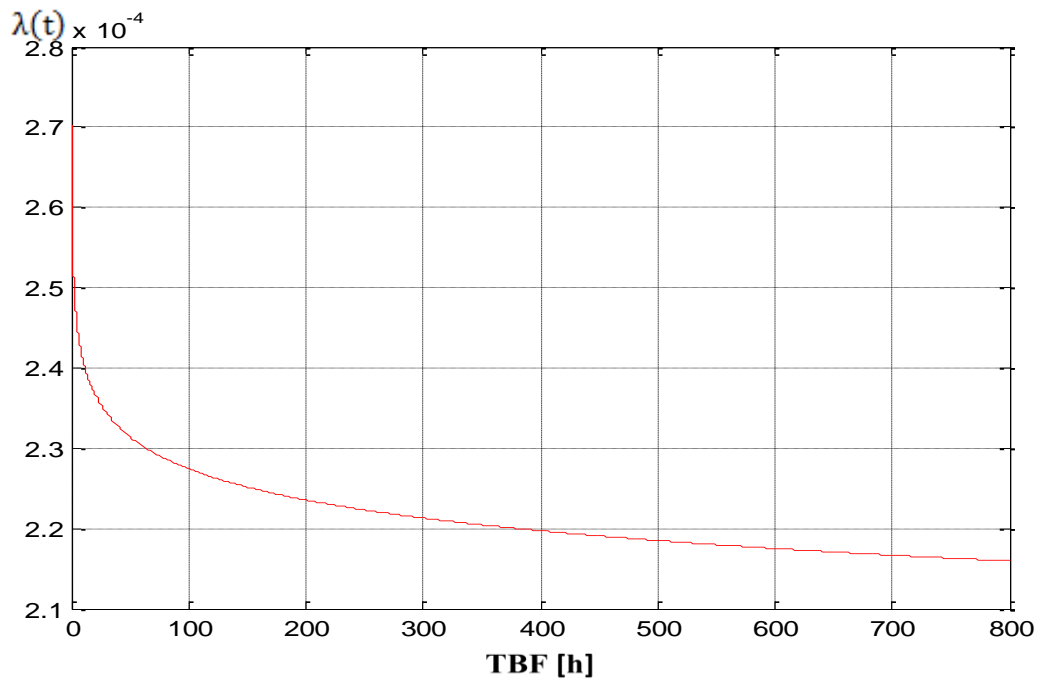


Figure III.6: Le courbe taux de défaillance

III.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.

III.6. Calcul la Maintenabilité de la turbine :

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

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

TR : temps de réparation.

N : nombre de panne.

$$MTTR = 296 / 9 = 32.88h.$$

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

Avec $\mu = 1 / MTTR = 1 / 32,88 = 0,03041$ intervention / heure.

T(h)	30	60	90	120	150	180	210	240	270	330	360
M(t)	0,5982	0,8368	0,9351	0,9739	0,9895	0,9957	0,9983	0,9997	0,9997	0,99999	0,9999

Tableau III.9: La maintenabilité de la turbine

III.6.1. courbe de la fonction de Maintenabilité :

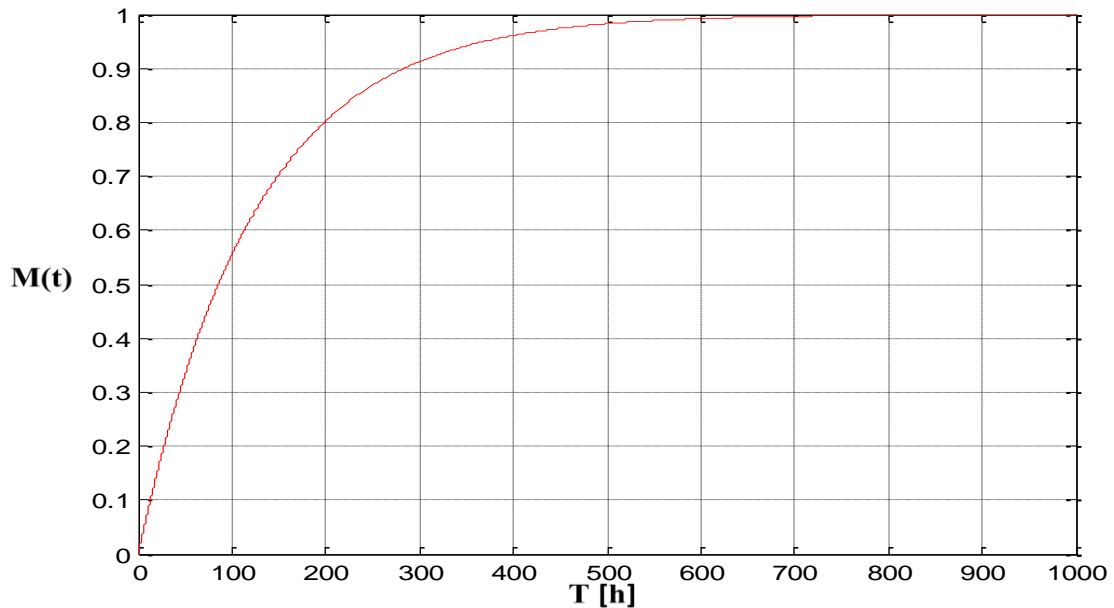


Figure III.7. La Courbe de Maintenabilité

III.6.2. Analyse de la courbe :

La Maintenabilité est croissant en fonction de temps à l'instant $T=330$ heures, la maintenable 99,99%.

III.7. Calcul la disponibilité de la turbine :

III.7.1. Disponibilité intrinsèque au asymptotique :

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} = \frac{4830,12}{4830,12+32,88} = 0,9932$$

III.7.2. Disponibilité instantané :

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

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{4830,12} = 0,000207$$

$$MTTR = \frac{1}{\mu} \Rightarrow \mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{32,88} = 0,03041$$

$$\mu + \lambda = 0,000207 + 0,03041 = 0,030617$$

$$D(t) = \frac{0,03041}{0,030617} + \frac{0,000207}{0,030617} e^{-(0,030617)t}$$

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

Tableau III.10: Tableau de disponibilité instantané

III.7.2.1. Courbe de la disponibilité :

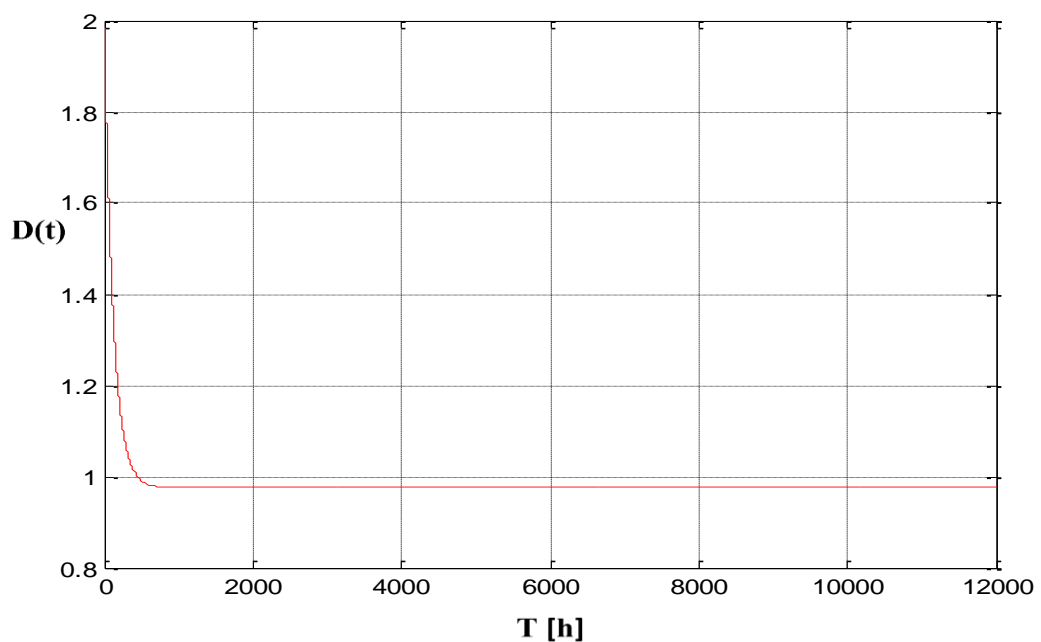


Figure III.8: La Courbe de disponibilité instantanée

III.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).

III.8. Conclusion :

Dans ce chapitre on a tenté d'exploiter l'historique de panne de la turbine type DR990 implanté à l'unité de traitement de gaz à Guellala, en classant les pannes selon leurs causes.

Le diagramme de Pareto est utilisé notamment pour hiérarchiser, mettre en valeur les causes et cibler les actions à mettre en œuvre en priorité ; ce ci nous donne que notre turbine souffre beaucoup plus du moteur électrique, thermo couples et injecteur de gaz.

En suite les paramètres de Weibull ont été calculés puis testés par le test de KOLMOGOROV SMIRNOV (détermine l'écart entre la fonction théorique et la fonction réel).

La validation des lois de fiabilité nous donne que 36% de fiabilité (faible fiabilité).

En outre, pour maintenir les 80% de fiabilité, il faut intervenir systématiquement environ chaque 1013,43 heures.

Finalement, pour assurer la disponibilité de la turbine il faut appliquer un système de maintenance adéquate et ceci se résume en deux points :

- Diminuer le nombre de ses arrêts (indice de fiabilité)
- Réduire le temps nécessaire pour résoudre les causes de ceux-ci (indice de maintenabilité).

Conclusion générale

Conclusion :

Le Maintien en condition opérationnelle de l'outil de production, joue un rôle clé dans le développement de l'entreprise. Il ne s'agit pas que les activités d'entretien et de réparation d'un équipement, lorsqu'il est en service, c'est beaucoup plus que cette courte vision. Il s'agit en fait de toutes les activités qu'il faut déployer, pendant la totalité du cycle vie de l'équipement, pour garantir à tout moment que le service qu'on attende sera obtenue, et ce ci dans les meilleurs conditions de performance coût/efficacité.

L'orientation actuelle par la méthode dite T.P.M. (Total Productive Maintenance) d'origine Japonaise a pour objectif principal d'améliorer la disponibilité des matériels en responsabilisant tous les acteurs de la production à la maintenance de leur équipement.

Dans ce mémoire nous avons présenté une validation expérimentale des indicateurs FMD en maintenance d'une turbine à gaz type DR990. La problématique relative à la prise en compte de la fiabilité de la maintenabilité et de la disponibilité de l'équipement étudiée.

Au cours de notre étude nous avons constaté que l'amélioration de la Fiabilité-Maintenabilité- Disponibilité de la turbine à gaz joue un grand rôle dans la baisse régulière des dépenses internes et externes de maintenance ramenées au chiffre d'affaires de l'entreprise.

Par ailleurs, prévoir un système de recherche permanente des défaillances imprévues possibles et de leur criticité et faire appel à des techniques prédictives de test et d'inspection qui permet de vérifier l'état de la turbine.

Annexe

Annexe 01 : Tableau de loi Kolmogorov-Smirnov [2]

N	Niveau significatif				
	0,2	0,15	0,1	0,05	0,01
1	0,900	0,925	0,950	0,975	0,995
2	0,684	0,726	0,776	0,842	0,929
3	0,565	0,597	0,642	0,708	0,828
4	0,494	0,525	0,564	0,624	0,733
5	0,446	0,474	0,510	0,565	0,669
6	0,410	0,436	0,470	0,521	0,618
7	0,381	0,405	0,438	0,486	0,577
8	0,358	0,381	0,411	0,457	0,543
9	0,339	0,360	0,388	0,432	0,514
10	0,322	0,342	0,368	0,410	0,490
11	0,307	0,326	0,352	0,391	0,468
12	0,295	0,313	0,338	0,375	0,450
13	0,284	0,302	0,325	0,361	0,433
14	0,274	0,292	0,314	0,349	0,418
15	0,266	0,283	0,304	0,338	0,404
16	0,252	0,274	0,295	0,328	0,392
17	0,250	0,266	0,286	0,318	0,381
18	0,244	0,259	0,278	0,309	0,371
19	0,237	0,252	0,272	0,301	0,363
20	0,231	0,246	0,264	0,294	0,356
25	0,210	0,220	0,240	0,270	0,320
30	0,190	0,200	0,220	0,240	0,290
35	0,180	0,190	0,210	0,230	0,270
>35	$\frac{1,07}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,22}{\sqrt{N}}$	$\frac{0,188}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,36}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,63}{\sqrt{N}}$

Annexe

Annexe 02 :

Distribution de Weibull : valeurs des coefficients A et B en fonction du paramètre de forme. [2]

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

Bibliographie

- [1] : Documentation Sonatrach-Haoud Berkaoui (2014)
- [2] : M. KADI, **Etude et amélioration FMD d'une motopompe centrifuge**, Mémoire de master professionnel, Université de Ouargla, (2014).
- [3] : "**Turbine à vapeur et à gaz**", Lucien Vivier, Edition Albin Michel (1965).
- [4] : "**compresseurs et turbines**", Energie, mines et ressources Canada
- [5] : HERZALLAH ATHMANE, **ETUDE THERMODYNAMIQUE, MAINTENANCE ET FIABILITE D'UNE TURBINE A GAZ MS 5002**, Mémoire master, (2007)
- [6] : technique de l'ingénieur, **Maintenance des turbines à vapeur**, Henri-Pierre RAMELLA, (2002)
- [7] : M. chikh, **Etude thermodynamique maintenance, amélioration de la turbine a gaz 5002b**, Mémoire de l'ingénieur, Université de BOUMERDES, (2009).
- [8] : "**Manuel de maintenance**", NAPHTOGAZ, HMD, (2001).
-