



UNIVERSITE DE M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR D'ETAT EN GENIE ELECTROTECHNIQUE

OPTION : ELECTROMECHANIQUE

THEME

**Etude De Maintenance D'une Turbine
à gaz «MS 5002D»**

Proposé et dirigé par :

-M. Mabrouk DEFDAF

Présenté par :

- SEMOUHI Laid
- GEURMIDA Boudjemaa
- FERHAT Ahmed

Remerciements

*Larange tout d'abord à dieu qui nous a donné la force
Pour terminer ce modeste travail.*

*Toutes nos infinies gratitudes à notre promoteur,
MABROUK DEFDAF 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: GENIE ELECTRIQUE*

*Nos remerciements s'adressent aussi, à tous les travailleurs de
la région de Hassi Messaoud et de rhourde el baguel.*

*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.*

Laid-Boudjemaa-Ahmed





Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

**Ma très chère mère qui pense à moi
Toujours très chère père qui m'a donné
mes études.**

**Mon frère et mes sœurs
Qui m'ont aidés beaucoup dans mes études.**

**Et à toute la famille
à tous mes amis et collègues sans exception.
à tous mes amis de promotion 2012...**

laid - boudjema - ahmed



Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I

Description de champ Rhourde el Baguel

I.1 Introduction.....	2
I.2 Situation géographique.....	2
I.3 Quelques dates clés.....	4
I.4 Organigramme de champ REB.....	5
I.4.1 Division Engineering et production (EP).....	6
I.4.2 Division Exploitation.....	6
I.4.3 Division Sécurité.....	7
I.4.4 Division Réalisation.....	7
I.4.5 Division de personnel.....	8
I.4.6 Division Maintenance.....	9
I.4.7 Division Intendance.....	9
I.4.8 Division approvisionnement/transport.....	9
I.4.9 Division finance.....	10
I.5 Description du proujet REB.....	10
I.6 Conclusion.....	12

Chapitre II

GENERALITE DE MAINTENANCE

II.1 Introduction.....	13
II.2 Définition de La maintenance.....	13
II.3 Les phénomènes précurseurs des panne.....	13
II.4 Objectifs de la maintenance.....	13
II.4.1 Objectifs financiers.....	13
II.4.2 Objectifs opérationnels.....	14
II.5 Formes des maintenances.....	14
II.5.1 Maintenance préventive.....	14
II.5.2 Maintenance corrective.....	15
II.6 Les fonctions d'un service maintenance.....	17
II.6.1 fonctions méthode.....	17

II.6.2 La fonctions d'ordonnancement.....	17
II.6.3 La fonctions de la préparation.....	17
II.6.4 La fonctions de lancement.....	17
II.6.5 La fonctions d'exécution.....	17
II.6.6 La fonctions de gestion des couts.....	18
II.7 Les niveaux de la maintenance.....	18
II.8 Le choix du type de maintenance.....	19
II.9 La méthode Arbre de Défaillances(AdD).....	19
II.9.1 Principe.....	19
II.10 La méthode ABC.....	21
II.10.1 Historique.....	21
II.10.2 Objectif.....	21
II.10.3 Méthode.....	22
II.11 Définir les limites de l'étude et classer les éléments.....	22
II.11.1 Présentation graphique	22
II.12 Conclusion.....	23

Chapitre III

Généralité de la turbine a gaz MS5002D

III.1 Introduction.....	24
III.2 Historique des turbines à gaz.....	24
III.3 Utilisation des turbines à gaz.....	25
III.3.1 Appareils fixes	25
III.3.2 Appareils mobiles.....	25
III.4 Classification des turbines à gaz.....	25
III.4.1 Par le mode de travail	25
III.4.2 Par le mode de fonctionnement thermodynamique.....	26
III.4.3 Par le mode de construction	27
III.5 Principe de fonctionnement de la turbine à gaz.....	28
III.6 Description de la turbine à gaz MS5002D.....	30
III.6.1 Définition.....	30
III.6.2 Caractéristique de la turbine à gaz MS 5002D.....	31
III.6.3 Principe de fonctionnement de la turbine à gaz MS5002D.....	32
III.6.3.1 Cycle théorique de la turbine.....	34
III.6.4 Sections principales d'une ITG.....	34
III.6.4.1 Section compresseur.....	34
III.6.4.2 Section combustion.....	36

III.6.4.3 Section turbine.....	40
III.6.5 Systèmes auxiliaires principaux.....	42
III.6.5.1 Système d'admission.....	42
III.6.5.2 Système de lancement.....	43
III.6.5.3 Système d'échappement.....	43
III.6.5.4 Réducteur.....	44
III.6.5.5 Système d'huile de graissage.....	44
III .7 Conclusion.....	44

Chapitre IV

ETUDE FMD

IV.1 Introduction.....	45
IV.2 Définitions et notations.....	45
IV.2.1 Fiabilité.....	45
IV.2.2 Disponibilité.....	45
IV.2.3 Maintenabilité.....	46
IV.2.4 Relation entre les différentes grandeurs caractérisant la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité d'un équipement.....	46
IV.3 Rappels de statistiques.....	47
IV. 3.1 Notion de Variable aléatoire.....	47
IV.3.2 Définition probabiliste de la fiabilité et commentaires.....	47
IV.3.3 Fonction de répartitions.....	48
IV.3.4 La densité de défaillance.....	48
IV.3.5 Taux de défaillance.....	48
IV.3.6 Principales lois utilisées.....	48
IV.4 Etude de la fiabilité de la turbine a gaz.....	50
IV.4.1 Situation du problème et objectif de l'étude.....	50

IV.4.2 Fiabilité opérationnelle et fiabilité prévisionnelle.....	50
IV.4.3 Analyse de la fiabilité à partir du modèle de weibull.....	51
IV.5 Test de kolmogorov Smirnov.....	59
IV.6 La Maintenabilité.....	61
IV.6.1 Définitions (AFNOR X-06-010).....	61
IV.6.2 Définition 2.....	61
IV.6.3 Calcule de la maintenabilité de la turbine MS5002D.....	61
IV.7 La Disponibilité.....	62
IV.7.1 Définitions AFNOR X06-10.....	62
IV.7.2 Mesure de disponibilité.....	62
IV.8 résultat graphique.....	63
IV.9 Interprétation graphique.....	66
IV.9.1 La densité de défaillance $f(t)$	66
IV.9.2 Interprétation de la Courbe de fonction de fiabilité $R(t)$	66
IV.9.3 La fonction de répartition $F(t)$	66
IV.9.4 Interprétation de la courbe du taux de défaillance $\lambda(t)$	66
IV.9.5 Maintenabilité $M(t)$	66
IV.9.6 Courbe de disponibilité $D(t)$	66
IV.10 Conclusion.....	67

Chapitre V

ETUD AMDEC (FMEA: FAILEURE MODE EFFECT ANALYSIS)

V.1 Introduction.....	68
V.2 Historique et définitions.....	68
V.3 Principe de base.....	69
V.4 Objectifs de l'AMDEC.....	70
V.5 Particularités de la méthode.....	70
V.6 Démarche pratique de l'AMDEC machine.....	71
V.7 Application de la méthode AMDEC.....	76
V.8 Interprétation des résultats de l'AMDEC.....	83
V.9 Conclusion.....	84

Chapitre VI

PARTIE SECURITE

VI. 1 Introduction.....	85
VI.2 Définitions de la sécurité.....	85
VI. 3 La relation entre la maintenance et la sécurité.....	85

VI.4 La sécurité au niveau de l'unité de traitement de gaz.....	85
VI.5 Mesure de sécurité.....	86
VI.6 Les protections locales contre l'incendie.....	86
VI.6.1 La turbine.....	86
VI.6.2 La zone de stockage.....	86
VI.6.3 La salle de contrôle.....	86
VI.6.4. Le laboratoire.....	87
VI.6.5 LA sous-station électrique.....	87
VI.7 Les moyens qui assurent la sécurité.....	87
VI.7.1 Les moyens humains.....	87
VI.7.2 Les moyens matériels.....	87
VI.8.conclusion.....	89

Conclusion générale.....	90
--------------------------	----

MTTF	L'estimation de la durée moyenne s'écoulant entre la mise en service du Système et la survenance.
MDT	La durée moyenne d'indisponibilité ou de défaillance
MUT	La durée moyenne de fonctionnement après réparation.
MBF	Maintenance basé sur la fiabilité
MTBF	La durée moyenne entre deux défaillances consécutives.
MTTR	Le temps moyen mis pour réparer le système.
AdD	Arbre de Défaillance
CDM	Les coûts de maintenance
CDNM	Les coûts de non-maintenance
MI	Maintenance Intégré
TBF	Temps de bon fonctionnement entre deux défaillances
f(t)	Densité de probabilité
F(t)	La fonction de répartition
R(t)	La fonction de fiabilité
$\lambda(t)$	Le taux de défaillance
M(t)	Fonction Maintenabilité
D(t)	Fonction de disponibilité
Di;	Disponibilité intrinsèque
β	Paramètres de forme
Υ	Paramètre de position
η	Paramètre d'échelle
m	La valeur moyenne
Var	La variance
Dn	La différence de test de Kolmogorov Smirnov
ni	Cumuler les avaries
$\mu(t)$	Taux de réparation
g(t)	Intensité de répartition
T.C.B.F	Temps cumulé de bon fonctionnement
T.C.R	Temps cumulé de réparation.
NC	Nombre d'intervention de maintenance avec immobilisation.
T.C.I	Temps cumulé d'immobilisation
ME	Milieu extérieur.
BDF	Le bloc diagramme fonctionnel

F	La fréquence d'apparition
ND	Le risque de non détection
G	La Gravité
MC	Maintenance corrective
C	La criticité
MP	Maintenance préventive
M	Main d'œuvre, matière, matériel, milieu, et méthode

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I

PRESENTATION DE LA REGION REB

Fig. (I.1) Situation géographique de REB. [1]	3
Fig. (I.2) Situation géographique de REB dans l'Algérie. [1]	3
Fig. (I.3) Organisation générale de la région REB. [1]	5

CHAPITRE II

GENERALITE DE MAINTENANCE

Fig. (II .1) Les différents types de maintenance. [9]	16
Fig. (II.2) Arbres de Défaillance (Ad D).[16].	21
Fig. (II .2) La méthode ABC.	22

CHAPITRE III

GENERALITE DE TURBINE A GAZ MS5002D

Fig. (III.1) Cycle de Baryton théorique dans les diagrammes P-V et T-S	26
Fig. (III.2) Schéma la de Turbine mono- arbre [2]	27
Fig.III. 3 Schéma la de turbine à gaz bi- arbre [2]	28
Fig. (III.4) Les variations de pression et de température dans les différentes sections de la turbine [2]	29
Fig. (III.5) La turbine à gaz MS5002D.[2]	30
Fig. (III.6) Présentation de la turbine MS 5002D. [2]	33
Fig.(III.7) Schéma de la turbine à gag MS 5002D. [2]	33

Fig. (III.4) Diagramme thermique de la turbine. [2]	34
Fig. III.8 Compresseur axial [2]	36
Fig. (.III.9) Composants de la section de combustion. [2]	37
Fig. (III.10) Ecoulement de l'air et du gaz par la section Combustion de la turbine a gaz simple cycle. [2]	38
Fig. (III.11) Bougie à flamme. [2]	39
Fig. (III.12) Détecteur de flamme. [4]	39
Fig. (III.13) Chambre de combustion. [2]	40
Fig. (III.14) Directrices 1ere étage et 2ème étage. [2]	41
Fig. (III.15) La roue HP et la roue BP. [2]	42
Fig. (III.16) Système typique d'admission. [2]	43

CHABITRE IV

ETUDE FMD

Fig. (IV.1) Les durées caractéristique de FDM.	46
Fig. (IV.2) Fiabilité opérationnelle et fiabilité prévisionnelle	50
Fig.(.IV.5) Courbe de la densité de défaillance $f(t)$	63
Fig. (IV.6) Courbe de la fonction de fiabilité	63
Fig. (IV.7) Courbe de la fonction de répartition $F(t)$	64
Fig. (IV.8) Courbe de taux de défaillance $\lambda(t)$	64
Fig. (IV.9) courbe de maintenable	65
Fig. (IV.10) Courbe La Disponibilité	65

CHABITRE V
ETUD AMDEC

Fig. (V.1) Types de l'AMDEC. [14]	69
Fig. (V.2) Démarche pratique de l'AMDEC machine. [14]	71

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE IV

ETUDEFMD

Tableau IV.1 historique des pannes de la turbine MS5002D.	52
Tableau IV.2 Les défaillances par classe	53
Tableau IV.3 Les données préparées	55
Tableau IV.4 Les résultats obtenus (logiciel loglaala).	57
Tableau IV.5 Les résultats de calcul de la fiabilité	58
Tableau IV.6 Les résultats des calcule de teste k.S	60

CHAPITRE V

ETUD AMDEC

Tableau V.1 Exemples de feuille de travail de l'AMDEC. [15]	72
Tableau V.2 Exemples des modes de défaillances. [14]	72
Tableau V.3 Exemples des causes de défaillance. [14]	73
Tableau V.4 Grille de cotation de fréquence, gravité et non détection. [14]	74
Tableau V.5 Limites de criticité. [14]	75
Tableau V.6 AMDEC, Sous-système1 [14]	77
Tableau V.7 AMDEC, Sous-système 2 [14]	78
Tableau V.8 AMDEC, Sous-système 2 [14]	79
Tableau V.9 AMDEC, Sous-système 3[14]	80
Tableau V.10 AMDEC, Sous-système 4 [14]	81
Tableau V.11 AMDEC, Sous-système 4 [14]	82
Tableau V.12 Classement des différents composants selon la criticité [14]	83

INTRODUCTION GENERALE

Le monde de l'industrie est devenu très complexe, l'enjeu aujourd'hui est autour de la rentabilité, en contribuant au développement de la société et en assurant des progrès technologiques satisfaisants, tout en mettant toutes les capacités humaines et matérielles pour arriver à un meilleur développement et ceci par une recherche scientifique assez poussée.

La présentation obligatoire d'un système bielle manivelle et d'un volant moteur ainsi que leur fonctionnement discontinu inévitable dans un moteur à piston rend impossible la concentration d'une grande puissance dans un seul groupe, tout cela restreint le domaine d'emploi des moteurs à pistons. Cet inconvénient est supprimé dans la turbine à gaz. Celle – ci est en effet caractérisée par un rendement élevé, permet de réaliser de grandes puissances avec un faible encombrement.

Les caractéristiques des turbines à gaz (taux de compression, débit, puissance,...etc.), sont donnée dans les conditions ISO. Ce qui nous mènera à étudier l'influence des différents facteurs qui peuvent engendrés des problèmes lors du fonctionnement de la turbine, en limitant ainsi sa durée de vie et ses performances. Le fonctionnement de la turbine même dans les conditions normales entraîne un certain vieillissement, usureetc. des pièces.

La maintenance est nécessaire pour assurer une bonne exploitation. Dans le même objectif notre étude a comme but de déterminer les intervalles exacts de maintenance. Cette dernière est basée sur deux principaux critères, l'un qui prend en considération le nombre d'heures travaillées et l'autre basé sur le nombre de démarrages, dans ce but, on va étudier une turbine à gaz de type MS5002D (Générale Électrique) afin d'évaluer ces performances, maintenance et fiabilité.[4]

On a divisé ce travail en six chapitres :

Premier chapitre: Présentation de la region REB.

Deuxième chapitre : généralités de maintenance.

Troisième chapitre est consacré à la généralité des turbines a gaz.

Quatrième chapitre c'est une étude et calcul FMD de la turbine a gaz MS5002D.

Cinquième chapitre est une étude de la AMDEC d'une turbine a gaz.

Sixième chapitre : partie sécurité

I.1 Introduction

Dans le cadre de la coopération entre le milieu scientifique et le milieu industriel, on a effectué un stage pratique au sein de la région RHOURE EL BAGUEL du 01/04/2012 au 22/04/2012 pour le but de faire un lien entre nos études à l'université et le domaine pratique; Pour réaliser un projet de mémoire de fin d'étude.

Au cours de ce stage au service mécanique, département maintenance on a eu la chance de visiter le centre de production, les puits l'atelier contenant les différents instruments industriels, tel qu'en baser sur la turbine à gaz.

I.2 Situation géographique

La région de REB est l'une des dix régions qui constituent actuellement la division production de la branche Amont.

Elle dispose de différentes installations de base, permettant d'assurer la production, le stockage et l'expédition des hydrocarbures, dont principalement d'après [1]:

- Une unité d'expédition du brut
- Des chaînes de séparation
- Des unités de stockage du brut
- Une unité de traitements du GAZ
- Une unité d'injection gaz pour le maintien de la pression dans le gisement
- Une unité de déshuilage pour la protection de l'environnement
- Laboratoire d'analyse

LA région de REB est à vocation pétrolier gazier. Elle situe à 940 Kms au sud-est d'Alger et à 90 Kms sud de HASSI MESSAOUD.

-Température maximale + **50 °C** en été

-Température minimale - **04 °C** en hiver

- Pluviométrie faible en hiver et nulle pendant le reste de l'année.

- Le paysage est constitué de plateau de sable avec des cordons de sable.

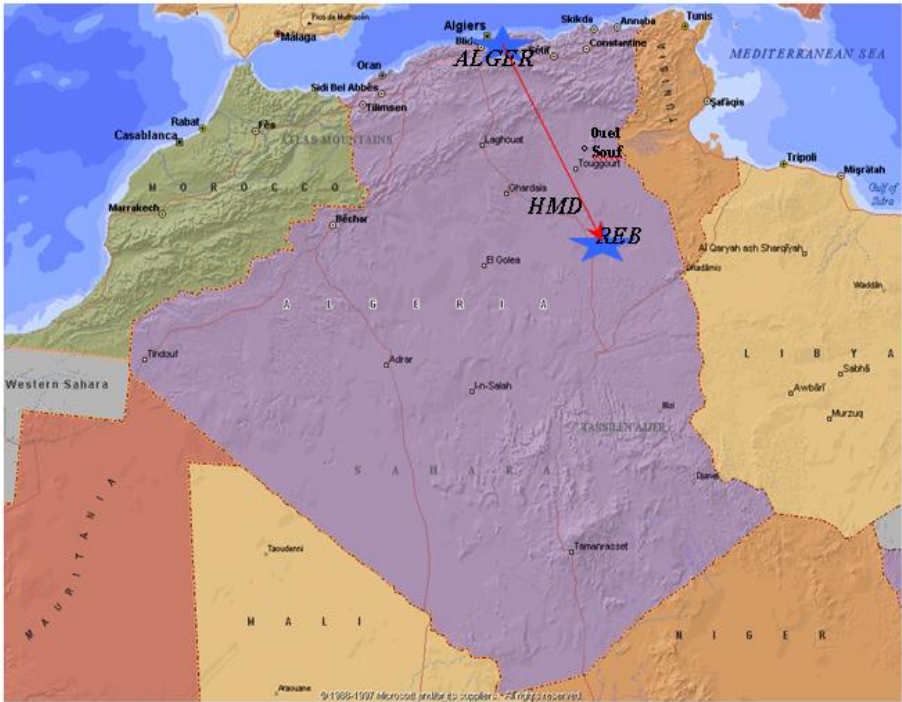
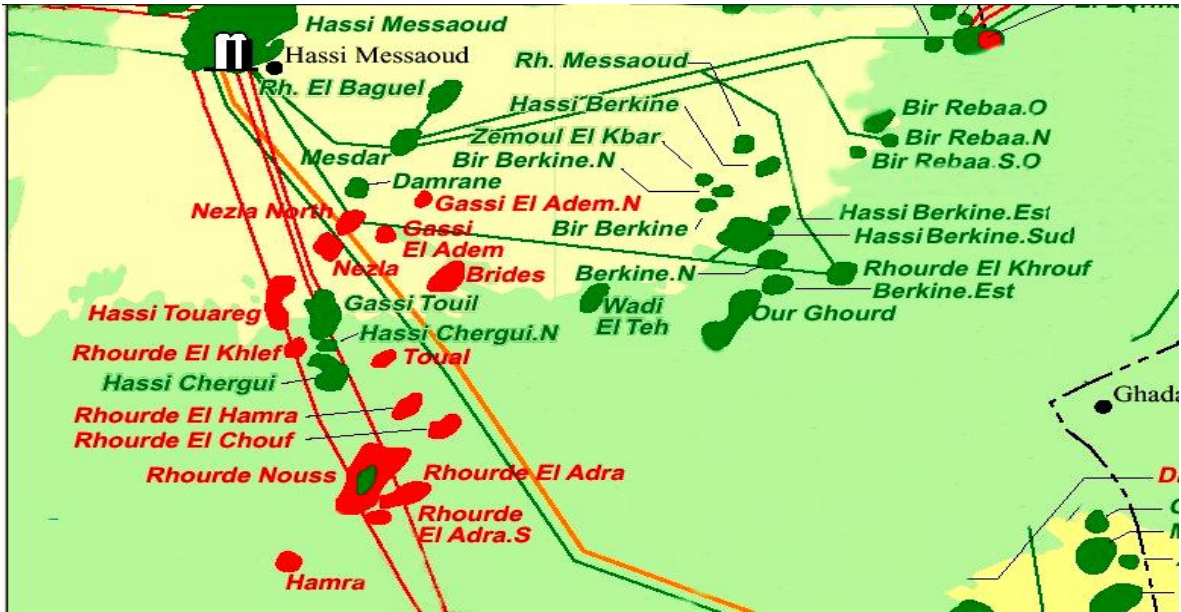


Fig (I.1): Situation géographique de REB [1]



Fig(I.2) Situation géographique de R E B dans l'Algérie. [1]

I.3 Quelques dates clés

Le gisement de RHOURE EL BAGUEL a été découvert et mis en production en 1962 par la compagnie SINCLAIR-OIL.

Depuis cette date, le niveau de production atteint plus de 480 millions de barils de pétrole, et il fut un temps où ce gisement était le deuxième plus grand gisement pétrolier après HASSI-MESSAOUD. Le taux de production initial en 1968 avait atteint les 94 000 barils/jour puis retombé à 25 000 barils/jour en 1996 suites à la baisse de la pression naturelle du réservoir qui avait chuté de 5 000 psi à 1700 psi. (1psi=0.06894757 bars)

En 1991, SONATRACH lance un appel d'offres auprès des compagnies pétrolières internationales, ciblant l'apport d'une technologie de pointe dans les techniques de récupération assistée pour 11 puits de pétrole producteurs. Les propositions soumises par ARCO en 1992 pour REB, seront retenues.

En février 1996 ARCO signe le contrat de partage de production avec SONATRACH pour le projet de récupération assistée des réserves de pétrole brut de REB. Une société d'opération conjointe, SONARCO, formée d'un personnel mixte de SONATRACH et ARCO est constituée pour gérer ce projet. L'engagement d'ARCO consiste en un investissement de l'ordre de 1.3 milliards de dollars sur les dix premières années. Le projet d'exploitation par les techniques de récupération assistée sera financé à 100 % par ARCO, et lorsque l'acquisition d'ARCO par BP a été finalisée en début d'année 2000, le projet est passé sous la responsabilité de BP ; Qui est devenu désormais le partenaire de SONATRACH dans ce projet ?

En 2005, le champ produit approximativement 24 mille barils de pétrole par jour [1]

I.4 Organigramme de champ REB: l'Organigramme de champ comme suit :

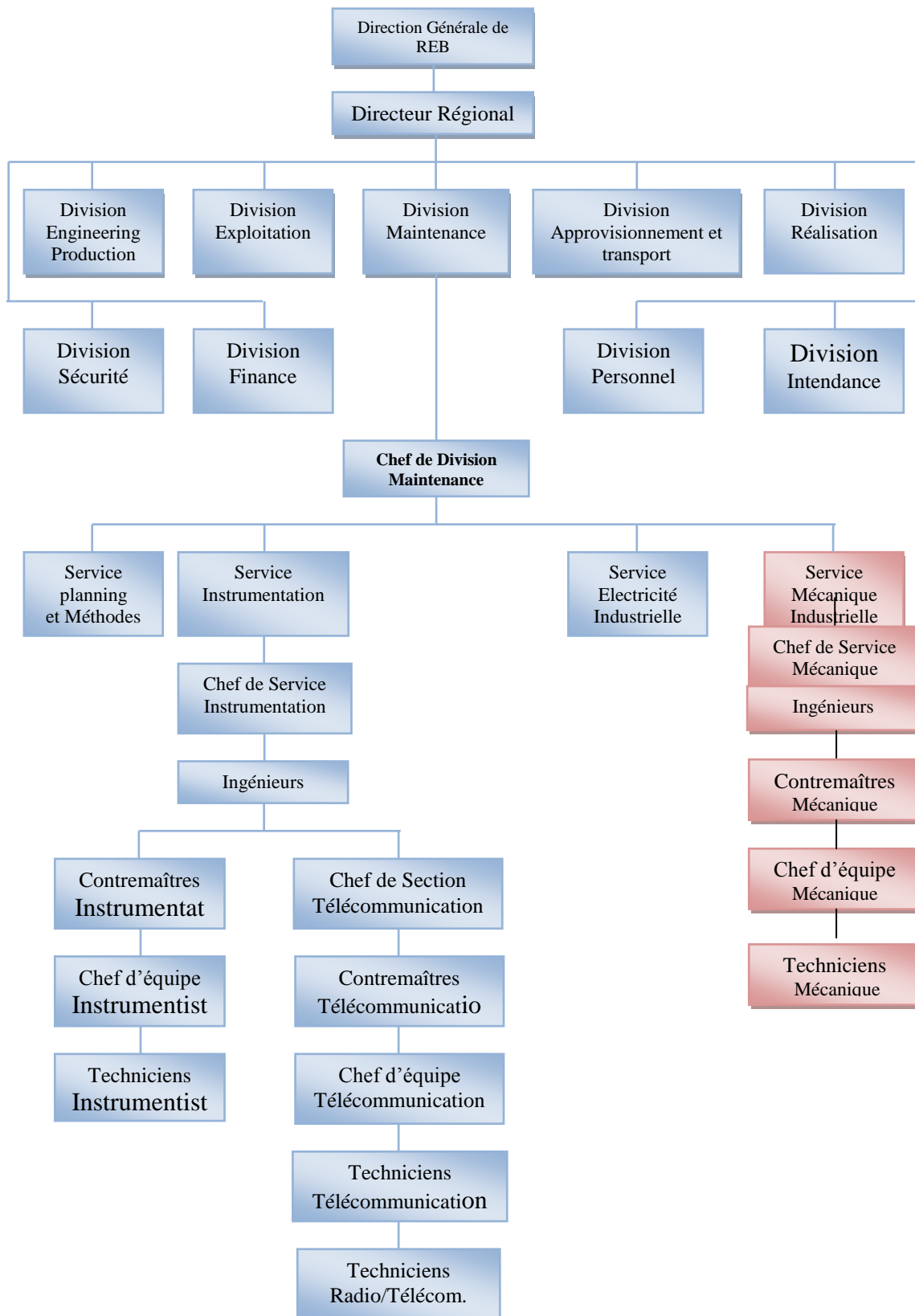


Fig. I. 3 Organisation générale de la région REB [1]

I.4.1 Division Engineering et production (EP)

La division EP a pour mission de suivre les puits, depuis le forage jusqu'à l'installation de la tête de puits et la mise en production, et la maintenance des puits, cette division est organisée comme suit:

I.4.1.1 Service géologie

Sa tâche consiste à désigner le lieu d'implantation des puits à forer, suivre et analyser les échantillons pris l'actualisation des cartes géographiques de gisement de la région.

I.4.1.2 Service contrôle et mesures

Consiste à procéder des études techniques sur le débit et la pression de gisement.

I.4.1.3 Service puits

Chargé de la réalisation des objectifs de la division EP et de tous les travaux programmés par le service technique puits, il existe 3 sections:

Intervention, Wire-Line, Préparation

I.4.1.4 Service technique puits

Il supervise des opérations spéciales sur les puits, préparation des programmes, des bilans et rapports mensuels, ainsi que l'actualisation des informations sur une base de données informatisée et liée par un réseau local.

I.4.2 Division Exploitation

C'est la plus importante en terme d'équipement sa mission est d'exploiter le brut jusqu'à son expédition cette division est structurée comme suit :

I.4.2.1 Unité de traitement de brut

Unité de traitement de brut se compose :

-Une section de séparation: regroupe une série de 09 batteries chaque batterie est formée d'un couple de séparateurs, et un séparateur supplémentaire (HP7) pour la récupération des gaz touchés.

-Une section de stockage et expédition: comprend (07) bacs de stockage et des pompes d'expédition.

I.4.2.2 Unité de traitement de gaz

L'unité se compose principalement de quatre (04) trains de traitement identique appelés chaînes.

I.4.2.3 Unité de récupération des gaz associés

Cette unité de but comprimé est réinjecté le gaz a une pression de 152 bar dans les puits injecteur afin de pouvoir maintenir la pression de réservoir.

I.4.2.4 Laboratoire

Laboratoire son rôle est effectué des analyses de contrôle de la qualité des huiles, contrôle quotidien des spécifications suivant :

- la densité
- la viscosité
- la Salinité
- la Tension de vapeur

I.4.3 Division Sécurité

La sécurité et ensemble de règles, de moyens technique et un état d'esprit dont la finalité est de crée les conditions de travail qui eluniment les accidents.

La sécurité généralement joue un rôle très important dans les unités de traitements de gaz et le brut.

Les hydrocarbures c'est notre objet de production, mais il constitue un danger permanent aux appareils et en matière de vies humaines.

Cette division à pour mission d'assurer la sécurité et maintenir le patrimoine humain et matériels de la société cette division et constitué comme suite :

I.4.3.1 Service intervention

Et doté un certain nombre d'équipements de sécurité et des moyens d'intervention auxquels il faut veiller à leur bon fonctionnement.

I.4.3.2 Service prévention

Chargé de prendre toutes les mesures de sécurité afin d'éviter les risques pour bien mener sa mission, il analyse tous les accidents et tire les conclusions, ainsi il procède à des contrôles réguliers des installations de la région et assiste à l'exécution de tous les travaux engagés dans la région.

I.4.3.3 Cellule environnement

Elle essaye de préserver l'environnement de la région de REB contre la pollution atmosphérique et terrestre et respecte les normes environnementales

I.4.4 Division Réalisation

Structurée de 04 services :

I.4.4.1 Service construction et génie civil

Assure la réalisation des travaux d'entretien des infrastructures est industrielles tels que aménagement, transformation et nettoyage dessablage, réseaux routiers, les plates formes.....

I.4.4.2 Service travaux neuf

Chargé de l'entretien du réseau de la collecte de GT en collaboration avec EP.

- l'entretien du réseau du centre de production
- supervise les nouvelles constructions
- fait les raccordements des puits

I.4.4.3 Service électromécanique

Chargé d'entretien des équipements électromécaniques installés dans la base de vie et le centre de production.

- froid
- climatisation, cumulus
- réseaux électriques
- suivi et réalisation des petits projets.....

I.4.4.4 Service travaux entretien

Entretien lié à la peinture, menuiserie, plomberie, vitrerie, et serrurerie...

I.4.5 Division de personnel

Sont rôle est la gestion du personnel de la région de REB, il constituer comme suit :

I.4.5.1 Section planification

Reçois les nouveau recruté, les Stagiaires géré les personnel de DSP, géré tous ce qui concerne la formation, les stages, le séminaire

I.4.5.2 Section administration

Elle et occupée de la gestion du bureau de voyage, sport est loisir.

I.4.5.3 Section gestion carrière

Suivie le parcours professionnel du personnel de la région.

I.4.5.4 Section prestation sociale

Gérer les allocations, la déclaration du personnel dans la caisse social, suivi la vie sociale du personnel.

I.4.5.5 Section de paie

Elle occupe le traitement des pais de personnel

I.4.6 Division Maintenance

Structurée en 04 service, elle est chargée de la maintenance des équipements industriels, et de maintenir l'état de fonctionnement des installations tels que les moteurs, turbines, pompes et instrumentation.

I.4.6.1 Service planning et méthode

Élabore un planning de révision curative et périodique de toutes les machines et les unités en collaboration avec les fabricants.

Le service assure la préparation et lancement des travaux, la préconisation des pièces et l'outillage spécifique.

I.4.6.2 Service Instrumentations

Chargé du suivi et de bon fonctionnement des équipements et machines.

I.4.6.3 Service mécanique

Fabrication des différentes pièces mécanique et assistance pendant la révision générale des moteurs, compresseur et pompes...

I.4.6.4 Service Electricité

Gérer, entretenir et maintenir les installations électriques.

I.4.6.5 Section Télécommunications

La section s'occupe de la maintenance et installation de toutes les infrastructures des Télécommunications (téléphone, transmission et radio).

I.4.7 Division Intendance

Structuré en deux services: Service hébergement, Service restauration

Sa mission principale s'occupe de l'hébergement et la restauration du personnel de la région, ainsi que les deux services assure par les entreprises soustraites; le service et de rôle supervisé

I.4.8 Division approvisionnement/transport

Comme son nom, sa mission et approvisionnement les structures par le matériels et fournitures de bureaux ainsi elle assure la gestion et l'exploitation du parc roulant du personnel et matériels.

Elle dispose de 4 services :

- service achat
- service gestion de stocks
- service entretien et service transport

I.4.9 Division finance

La finalité d'une entreprise est générer des bénéfices et augmenter sa capacité d'autofinancement. Cette division est chargée de faire la collecte des données pour les transmettre à la direction finances afin d'analyser globalement ces données pour voir qu'elles sont les rectifications à introduire en vue d'atteindre l'objectif tracé.

Il dispose 03 services :

- Service comptabilité générale
- Service trésorerie
- Service comptabilité analytique
- Cellule juridique

I.5 Description du projet REB :

Le projet de récupération assistée du pétrole brut du gisement de RHOURE EL BAGUEL est composée de deux phases, la phase A et la phase B

LA PHASE (A) :**Centre de production huile ou CPF (Centre de Production Facilité) :**

Elle comprend les installations suivant [1] :

1/Unité de traitement :**A/ section de séparation :**

Elle est constituée des éléments suivants :

- trois séparateurs à haute pression (v1509, v1523, et 1527) en parallèle .le bute sortant de ces derniers alimentent les séparateurs MP, le gaz HP est envoyé vers l'unité TCF.
- Deux batteries à moyenne pression MP1, MP2, chacune est composée de trois séparateurs (v1521, v1522, v1511), (v1529, v1530, v1531), respectivement.
- Un séparateur à basse pression v1532.ce séparateur est en série avec le ballon FA4504.il alimente la colonne de stabilisation DA4501.

B/ système de collecte d'eau :

-**EDR** : cette unité a été conçue pour traiter l'eau, ce traitement est basé sur l'élimination des sels présents dans l'eau avec l'électrodialyse réversible pour une utilisation domestique.

2/unité d'optimisation :

L'objectif principal de cette unité est de :

- Récupération du condensât contenu dans le gaz associé.
- Stabilisation le pétrole brut en ajustant sa tension vapeur.
- Produit un gaz combustible pour alimenter les turbines à gaz.

3/ unité TEG : cette unité comporte la section de déshydrations et régénération du gaz

(Le TEG trié éthylène glycol est un produit chimique liquide)

En déshydrate le gaz pour ne pas endommager les compresseurs et éviter la corrosion au niveau des pipes ligne.

4/ Les utilités :**a. Section air dayne** : elle est compose de Trois moto compresseur

Leurs rôle est de traiter l'air aspiré de l'atmosphère en éliminant les impuretés, afin de fournir l'air service et l'air instrument. et l'air service en moyenne de 8bar

b. centrale électrique :

La génération de l'énergie électrique ce fait au moyen de trois turbogénérateurs (PGT10 NUOVO PIGNONE)

4. Stockage et expédition :

Pour assurer le stockage du brut, le champ de REB dispose trois Bacs à toit flottant d'une capacité de 20 000 m³ chacun.

L'expédition de brut se fait vers MESDAR transport ou vers HEH (Haoud El Hamra) à l'aide des pompes d'expédition P1503A et P1503B.

LA PHASE (B) :

- **centre TCF (train-compression-facilites) :**

L'unité de compression et réinjection de gaz TCF, a été réalisée dans le but de réinjecter du gaz miscible dans les puits injecteurs pour augmenter la pression du gisement.

a. Station Booster MP:

Le gaz MP (15 bars) provenant du CPF est comprimé par le turbocompresseur MP (K2005-KT2005) à une haute pression (30bars).Le gaz sortant est refroidi à travers les aéros puis mélanger avec le gaz HP (30bars) en provenance des séparateurs HP de l'unité de traitement.le mélange des deux gaz alimente les trains de TEG.

b. Unité de séchage :

A ce niveau, on trouve quatre trains identiques (A, B, C, D) de déshydratation de gaz au TEG.Avant que le gaz ne soit comprimé, il faut lui extraire l'eau qui se trouve à l'état de vapeur ; afin d'éviter tout endommagement des compresseurs et toute condensation durant la compression.

b. Station de compression :

C'est un ensemble de quatre trains de compression (A, B, C, D) identique, chacun des d'eux est composé d'un compresseur centrifuge tri-étagés (K2002, K2003, K2004) de marque NUOVO PIGNONE, entraîné par une turbine à gaz de marque GE (Général Electric), de type FRAME5 à deux arbres et douze chambres de combustion.

Ces trains reçoivent le gaz, parfaitement sec, en provenance du compartiment de déshydratation au glycol et celui de la station de Zina à une pression 30 bars ; puis ce gaz entrera dans la phase de compression en redondance à travers les trois étages de compression de chaque train et il subira un refroidissement par les aéros après chaque compression [1]

Gaz ZINA : ce gaz provient d'un champ appelé ZINA, il est délivré au champ REB à la pression désiré, d'autant plus il est sec et doux.

I.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présentés la situation géographique de la région REB et nous avons illustrés le champ du stage, puis nous avons expliqués le rôle et l'effet de chaque service.

II.1 Introduction

Les installations et les équipements se détériorent sous l'action de multiples causes ; surcharge en cours de fonctionnement, mauvaise exploitation, action des agents corrosifs, chimique, atmosphérique,... etc. Ces détériorations peuvent être à l'origine des arrêts de fonctionnement (pannes), de la diminution de production, l'augmentation des coûts de façon générale.

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. [7]

II.3 Les phénomènes précurseurs des pannes

La connaissance intime des machines et équipements permet à la longue de pouvoir prédire les pannes en observant, écoutant, sentant un certain nombre de signes, généralement précurseurs de panne. Il s'agit de. [8] :

- Usure
- Oxydation d'organes, de pièces ou des traces d'oxydation
- Connexions électriques, mécaniques ou hydrauliques relâchées, défailtantes
- Vibrations anormales
- Fuites de fluides, d'air comprimé,.....etc.

II.4 Objectifs de la maintenance

Les objectifs de la maintenance peuvent être classés en deux types [7]:

II.4.1 Objectifs financiers

- Optimisation du coût de la maintenance.
- Entretenir les installations avec le minimum d'économie et les remplacer à des période prédéterminées.

II.4.2 Objectifs opérationnels

- Maintenir l'équipement dans les meilleures conditions possibles.
- Assurer la disponibilité maximale de l'équipement.
- Augmenter la durée de vie des équipements.
- Assurer un fonctionnement sûr et efficace à tout moment.
- Augmenter le rendement des équipements.

II.5 Formes des maintenances

D'après l'organigramme de la Fig. 1 on a les différents types de la maintenance

II.5.1 Maintenance préventive

Selon la norme AFNOR NF 60-010, la maintenance préventive est définie comme une maintenance effectuée selon des critères d'un bien :

Le principe de la maintenance préventive est l'anticipation, elle se pratique sous trois formes [9] :

II.5.1.1 Maintenance Systématique

Maintenance préventive effectuée selon un échéancier établi à partir d'un nombre prédéterminé d'unités d'usage.

La mise en pratique de cette maintenance nécessite de décomposer les machines en éléments maintenables. Ces éléments doivent être visités ou changés périodiquement.

La périodicité de ces visites s'établit par l'étude des lois de durée de vie. On harmonisera ces périodicités de façon à les rendre multiple les unes des autres. Des gammes d'entretien seront élaborées de façon à préciser le travail à exécuter par l'équipe de maintenance, un rapport sera rédigé mettant en relief les résultats des diverses mesures et les observations.

L'intérêt de cette méthode est de diminuer les risques de défaillance.

II.5.1.2 Maintenance conditionnelle

Maintenance préventive subordonnée au franchissement d'un seuil prédéterminé significatif de l'état de dégradation du bien.

Note: le franchissement du seuil peut être mis en évidence par l'information donnée par un capteur ou par tout autre moyen.

II.5.1.3 Maintenance prévisionnelle

Maintenance préventive subordonnée à l'analyse de l'évolution surveillée des paramètres significatifs de la dégradation du bien, permettant de retarder et de planifier les interventions.

II.5.2 Maintenance corrective

D'après la norme AFNOR X60-010, la maintenance corrective se définit comme "une maintenance effectuée après défaillance".

Dans cette approche, les machines fonctionnent sans dépenses particulières pour l'entretien ni la surveillance, jusqu'à l'incident.

Dans la maintenance corrective, tout incident sur la machine a une influence sur l'exploitation, et puisque les arrêts sont aléatoires, la planification dans la production est difficile. [9]

II.5.2.1 Maintenance palliative

Activités de maintenance corrective destinées à permettre à un bien d'accomplir provisoirement tout ou une partie d'une fonction requise.

Note: Appelée couramment "dépannage", la maintenance palliative est principalement constituée d'actions à caractère provisoire qui devront être suivies d'actions curatives.

II.5.2.2 Maintenance curative

Activités de maintenance corrective ayant pour objet de rétablir un bien dans un état spécifié ou de lui permettre d'accomplir une fonction requise. Ces activités peuvent être:

- Des réparations.
- Des modifications ou améliorations ayant pour objet de supprimer la ou les défaillances.

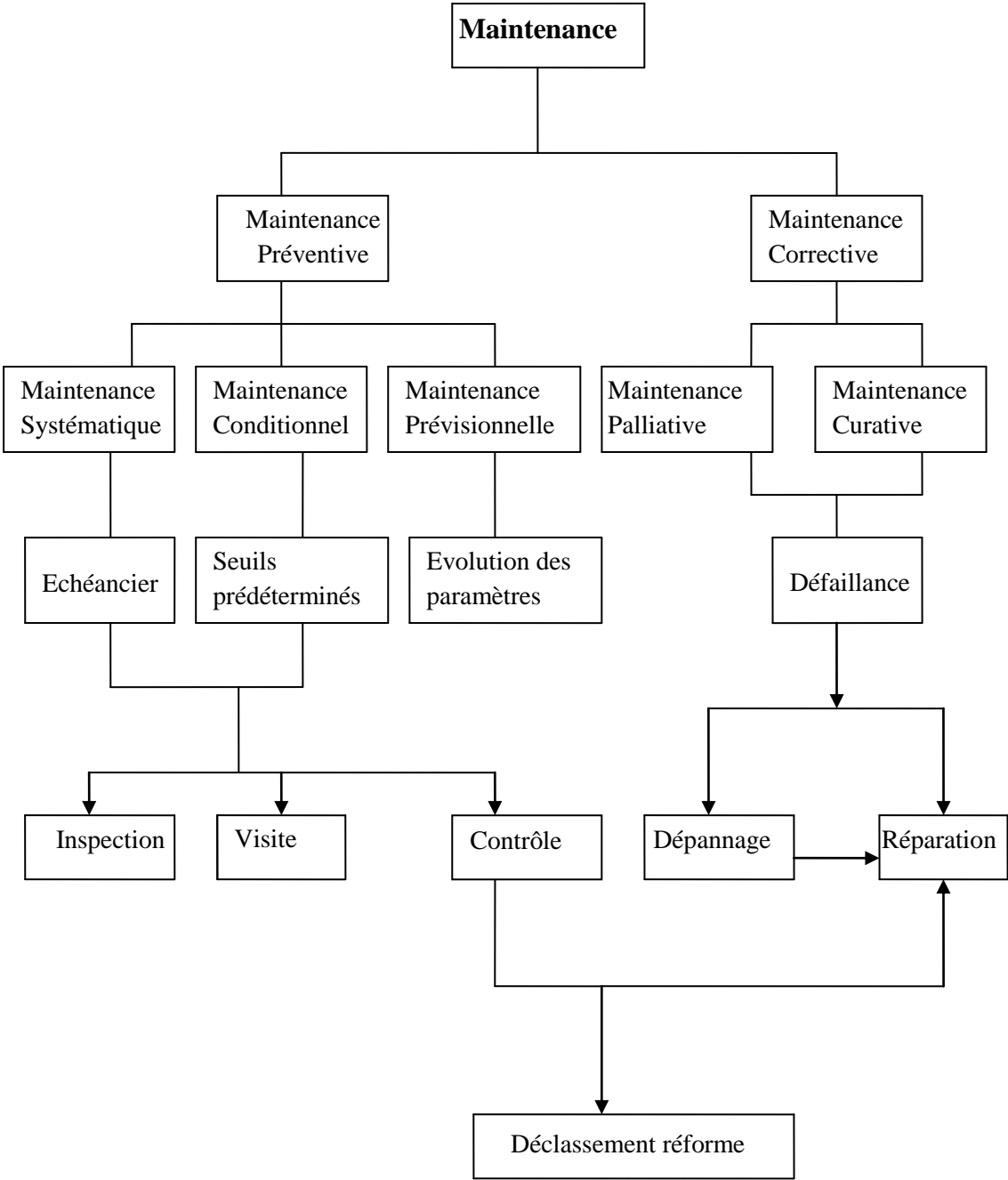


Fig. II .1 Les différents types de maintenance. [9]

II.6 Les fonctions d'un service maintenance

D'après [7], les fonctions d'un service maintenance est comme suit :

II.6.1 Fonction méthode

Cette fonction est considérée comme le cerveau du service de maintenance, elle définit :

- Ce qu'il faut faire, avec qui le faire et comment le faire.
- Les méthodes et les techniques d'intervention.
- Les moyens et les normes d'entretien.
- La création et l'exploitation de la documentation technique et historique.
- L'élaboration des méthodes d'entretien.
- Respecter le budget attribué.

Elle détermine les moyens nécessaires (matériels et humains) et les fréquences d'intervention.

II.6.2 La fonction d'ordonnancement

Cette fonction rassemble les moyens et matériels pour rendre exécutable les travaux à réaliser, elle établit la programmation des travaux, suit à leur avancement et veille au respect des délais; elle définit les besoins en main d'œuvre, contrôle et regroupe les informations relatives aux travaux.

II.6.3 La fonction de la préparation

Bien que découlant de la fonction méthodes, la préparation du travail détermine le processus des différentes phases, les moyens nécessaires, les durées opératoires, la préparation de la main d'œuvre et les pièces de rechange.

II.6.4 La fonction de lancement

Assurer la distribution du travail selon un planning établi en fonction de la charge et assurer la gestion et la conduite des hommes pour la bonne exécution des travaux. Elle s'occupe de la surveillance et de l'orientation du personnel.

II.6.5 La fonction d'exécution

C'est la fonction opérationnelle de la maintenance. Elle assure la remise en route des machines par l'exécution des interventions. Elle garantit le niveau de qualité requis dans les délais prévus, à la date fixe et dans les meilleures conditions de sécurité.

II.6.6 La fonction de gestion des coûts

Le service de la maintenance pourra, par la diminution des coûts, augmenter la rentabilité de l'entreprise. Pour la maîtriser il sera nécessaire de connaître les coûts de la maintenance organes et immobilisation.

II.7 Les niveaux de la maintenance

Il existe cinq niveaux de maintenance [10]:

- **Le 1^{er} niveau :**

Réglage simple prévus par le constructeur au moyen d'éléments accessibles sans aucun démontage ou ouverture de l'équipement, ou échanges d'éléments consommables accessibles en toute sécurité, par exemple.

Note : ce type d'intervention peut être fait par l'exploitant du bien, sur place, sans outillage et à l'aide des instructions d'utilisation.

- **Le 2^{ème} niveau :**

Dépannages par échange standard des éléments prévus à cet effet et opération mineures de maintenance préventive, telles que graissage ou contrôle de bon fonctionnement.

Note : ce type d'intervention peut être effectué par un technicien habilité de qualification moyenne, sur place, avec l'outillage portable défini par les instructions de maintenance, et à l'aide de ces mêmes instructions.

- **Le 3^{ème} niveau :**

Identification et diagnostic des pannes, réparations par échange de composants ou d'éléments fonctionnels, réparations mécaniques mineures, et toutes opérations courantes de maintenance préventive telles que réglage général ou réalignement des appareils de mesure.

Note : ce type d'intervention peut être effectué par un technicien spécialisé, sur place ou dans local de maintenance, à l'aide de l'outillage prévu dans les instructions de maintenance ainsi que des appareils de mesure et de réglage, et éventuellement des bancs d'essais et de contrôle des équipement et en utilisant l'ensemble de la documentation nécessaire à la maintenance du bien, ainsi que les pièces approvisionnées par le magasin.

- **Le 4^{ème} niveau :**

Tous les travaux importants de maintenance corrective ou préventive à l'exception de la rénovation et de la reconstruction. Ce niveau comprend aussi le réglage des appareils de mesure utilisés pour la maintenance, et éventuellement la vérification des étalons de travail par les organismes spécialisés.

Note : ce type d'intervention peut être effectué par une équipe comprenant un encadrement technique très spécialisé, dans un atelier spécialisé doté d'un outillage général (moyens mécaniques, de câblages, de nettoyage...etc) éventuellement de bancs de mesure et étalons de travail nécessaires, et à l'aide de toutes documentations générales ou particulières.

• **Le 5^{ème} niveau :**

Rénovation, reconstruction ou exécution des réparations importantes confiées à un atelier central ou à une unité extérieure.

Note : par définition, ce type de travaux est donc effectué par le constructeur, ou par le reconstruteur, avec les moyens définis par le constructeur, et donc proches de la fabrication.

II.8 Le choix du type de maintenance

Le choix du type de maintenance le mieux adapté dans chaque cas dépend [8] :

- Du type de défaillance : nouveau, cyclique ou aléatoire.
- De l'aptitude du personnel de maintenance.
- De la connaissance des coûts de maintenance (coûts directs, coûts indirects, investissements).
- De l'organisation du travail (méthode, préparation, planning, pièces de rechange, moyens d'investigation,...etc.).

II.9. La méthode Arbre de Défaillances (AdD)

Elle offre un cadre privilégié à l'analyse déductive qui consiste à rechercher les diverses combinaisons possibles d'événements conduisant à la réalisation d'un événement indésirable, et permet de représenter simplement ces combinaisons sous forme graphique au moyen d'une structure arborescente de portes logiques. [16]

II.9.1. Principe

L'analyse par arbre de défaillances est une méthode de type déductif. En effet, il s'agit, à partir d'un événement redouté défini a priori, de déterminer les enchaînements d'évènements ou combinaisons d'évènements pouvant finalement conduire à cet événement. Cette analyse permet de remonter de causes en causes jusqu'aux évènements de base susceptibles d'être à l'origine de l'évènement redouté. Les évènements de base correspondent généralement à les :

- Évènements élémentaires qui sont suffisamment connus et décrits par ailleurs pour qu'il ne soit pas utile d'en rechercher les causes. Ainsi, leur probabilité d'occurrence est également connue,

- Évènements ne pouvant être considérés comme élémentaires mais dont les causes ne seront pas développées faute d'intérêt,
- Évènements dont les causes seront développés ultérieurement au gré d'une nouvelle analyse par exemple,
- Évènements survenant normalement et de manière récurrente dans le fonctionnement du procédé ou de l'installation,

Ainsi, l'analyse par arbre des défaillances permet d'identifier les successions et les combinaisons d'évènements qui conduisent des évènements de base jusqu'à l'évènement indésirable retenu. Les liens entre les différents évènements identifiés sont réalisés grâce à des portes logiques (de type « ET » et « OU » par exemple). Cette méthode utilise une symbolique graphique particulière qui permet de présenter les résultats dans une structure arborescente. Les conventions de présentation sont proposées dans la norme CEI 61025 :1990 « Analyse par Arbre de Panne (APP) ». A l'aide de règles mathématiques et statistiques, il est alors théoriquement possible d'évaluer la probabilité d'occurrence de l'évènement final à partir des probabilités des évènements de base identifiés. L'analyse par arbre des défaillances d'un évènement redouté peut se décomposer en trois étapes successives :

- Définition de l'évènement redouté étudié,
- Elaboration de l'arbre,
- Exploitation de l'arbre.

Il convient d'ajouter à ces étapes, une étape préliminaire de connaissance du système. Nous verrons que cette dernière est primordiale pour mener l'analyse et qu'elle nécessite le plus souvent une connaissance préalable des risques. [16]

_ Examen du système et définition des évènements indésirables dont il peut être le foyer.

Cette recherche des évènements indésirables peut être effectuée à l'aide d'une Analyse Préliminaire des Risques (**APR**)

Les Arbres de Défaillance (**AdD**) sont des représentations graphiques qui à partir d'un évènement redouté (**noté F**) (fig.II.2) donné, ont pour but d'identifier séquentiellement l'ensemble de ses causes jusqu'aux plus élémentaires.

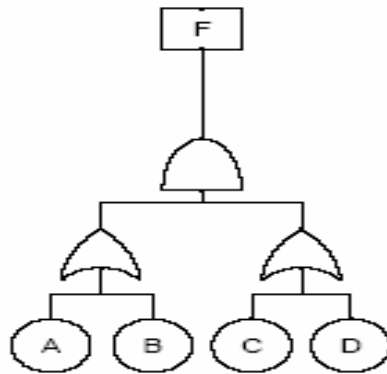


Fig-II.2 Arbre de Défaillance (AdD)[16].

On considère un **système (noté S)** dont l'**AdD** est représenté ci-contre. On distingue alors deux types d'éléments:

- _ Les composants (**A, B, C, D**) qui constituent le système.
- _ Les portes (**OU, ET, 2/3...**).

L'analyse quantitative d'une **AdD** consiste à calculer la probabilité de l'événement redouté connaissant les probabilités de défaillance des composants.

L'événement redouté **F** est la défaillance du système. On donne beaucoup plus de détail sur la méthode. [16]

II.10 La méthode ABC

II.10.1 Historique

C'est un sociologue et économiste franco-italien Vilfredo Federico Samoso, dit marquis de Pareto (1848 - 1923) qui a montré que 80 % des richesses étaient détenus par 20 % de la population. Par extension, dans la majorité des cas, un petit nombre de facteurs est responsable du plus grand nombre des effets.

II.10.2 Objectif :

Le but est d'analyser un phénomène, en le représentant par un graphique qui permet de déterminer l'existence d'une relation entre deux groupes de données. Le diagramme de Pareto permet de classer les événements selon l'enjeu qu'ils représentent. Il permet de visualiser rapidement les priorités d'action, de faire un choix et de se concentrer sur les problèmes à traiter en priorité. C'est un moyen simple de classer les phénomènes par ordre d'importance.

II.10.3 Méthode :

Les éléments seront classés par ordre d'importance en indiquant les pourcentages pour un critère déterminé.

Cette étude nécessite une approche en 3 étapes :

II.10.3.1 Définir la nature des éléments à classer

Ces éléments à classer dépendent du caractère étudié.

Ces éléments peuvent être : des matériels, des causes de pannes, des natures de pannes, des bons de travail, des articles en stock, etc.

II.10.3.2 Choisir le critère de classement

Les critères les plus fréquents sont les coûts et les temps, selon le caractère étudié, d'autres critères peuvent être retenus tels que :

- Nombre d'accidents, nombre d'incidents
- Nombre de rebuts, nombre d'heures d'utilisation
- Nombre de kilomètre parcourus
- Valeur consommée annuellement, souvent nécessaire pour la gestion des stocks

II.11 Définir les limites de l'étude et classer les éléments.

II.11.1 Présentation graphique :

Il s'agit de délimiter sur la courbe obtenue des zones à partir de l'allure de la courbe, en général la courbe possède deux cassures, ce qui permet de définir trois zones :

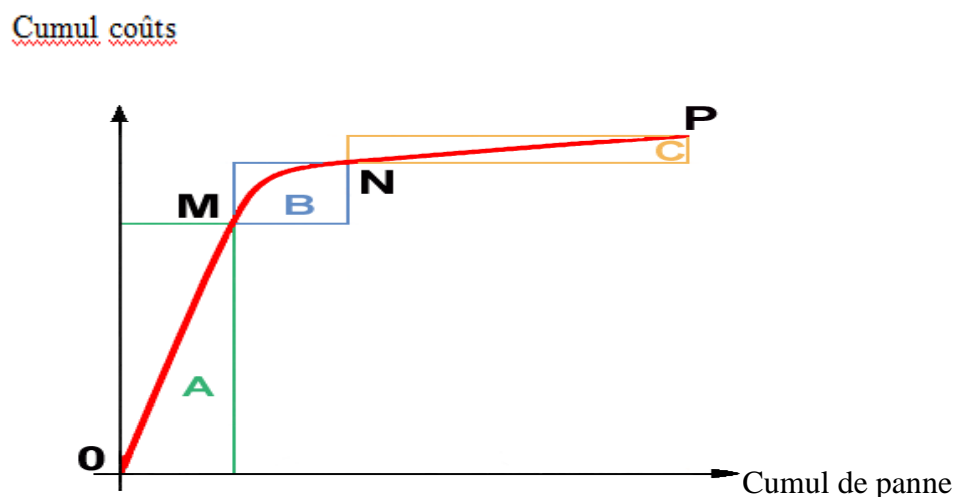


Fig. II .2 La méthodeABC

La partie droite de la courbe OM détermine la zone A. (20 % représente 80%)

La partie courbe MN détermine la zone B. (30% représente 15%)

La partie assimilée à une droite NP détermine la zone C (50% représente 5%).

II.12 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons étudié les fondamentales définitions de maintenance et les différents outils d'aide à la décision pour faire choisir la politique de maintenance adéquate de chaque système.

III.1 Introduction

La turbine à gaz est un moteur à combustion interne de tous les points de vue; elle peut être considérée comme un système autosuffisant, elle prend et comprime l'air atmosphérique dans son propre compresseur, augmente la puissance énergétique de l'air dans sa chambre de combustion et convertit cette puissance en énergie mécanique utile pendant les processus de détente qui a lieu dans la section turbine. L'énergie mécanique qui en résulte est transmise par l'intermédiaire d'un accouplement à une machine réceptrice, qui produit la puissance utile pour le processus industriel.

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

III.2 Historique des turbines à gaz

Les premières turbines à gaz sont apparues sur le marché à la fin des années 40; elles ont été généralement employées dans les chemins de fer et avait l'avantage de brûler du combustible liquide, même à faible qualité (à cause de la limitation des procédés de raffinage). La turbine MS3001 construite par GE, ayant une puissance de 3,312 MW, a été spécifiquement employée pour le service locomoteur.

Les progrès obtenus dans la technologie des matériaux et dans la recherche approfondie sur la combustion, ont permis des améliorations rapides des performances de ces machines, en termes de puissance spécifique et de rendement, obtenus en augmentant les températures maximales dans le cycle thermodynamique.

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**
- **2^e génération : 955 <T_{max}< 1124**
- **3^e génération : 1149 <T_{max}< 1288**

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). [2]

III.3 Utilisation des turbines à gaz [2]

Les turbines à gaz ont une très grande utilité dans l'industrie, du fait qu'elles sont des appareils pour la production de l'énergie mécanique. Elles peuvent être utilisées pour l'entraînement des:

III.3.1 Appareils fixes

Ces appareils font l'objet d'un stage de formation. Ils sont destinés aux services industriels suivants :

- Transmission électrique, pour la production d'énergie électrique par cycle ouvert.
- Transmission électrique, pour la production d'énergie électrique par cycle combiné.
- Transmission électrique, pour la production d'énergie électrique par cogénération.
- Entraînement des compresseurs de réinjection.
- Entraînement des pompes de réinjection.
- Entraînement des compresseurs pour gazoducs.
- Entraînement des pompes pour oléoducs.
- Procédés industriels particuliers.

III.3.2 Appareils mobiles

Du point de vue historique, ces appareils ont été introduits en premier. Ils comprennent les domaines suivants :

- Chemins de fer.
- Propulsion maritime.
- Aviation.
- Traction routière

III.4 Classification des turbines à gaz

On peut classer les turbines selon différents points [3] :

- ✓ Par le mode de travail.
- ✓ Par le mode de fonctionnement thermodynamique.
- ✓ Par le mode de construction.
- ✓ Et selon la nature de l'écoulement

III.4.1 Par le mode de travail

On distingue deux types de turbines :

III.4.1.1 Etage 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 $P_1 > P_2 > P_3$.

III.4.1.2 Etage 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 $P_1 > P_2 = P_3$.

III.4.2 Par le mode de fonctionnement thermodynamique

Il existe deux cycles thermodynamiques :

III.4.2.1 La turbine à gaz à cycle fermé

Dans laquelle le même fluide est repris après chaque cycle.

III.4.2.2 La turbine à gaz à cycle ouvert

C'est une turbine dont l'aspiration et l'échappement s'effectue directement dans l'atmosphère, ce type de turbine qui le plus répandu se divise en deux classes : turbine à cycle simple et turbine à cycle régénéré ou mixte.

Ce qui caractérise le mieux ce type est le cycle de Brayton (Fig.III.1):

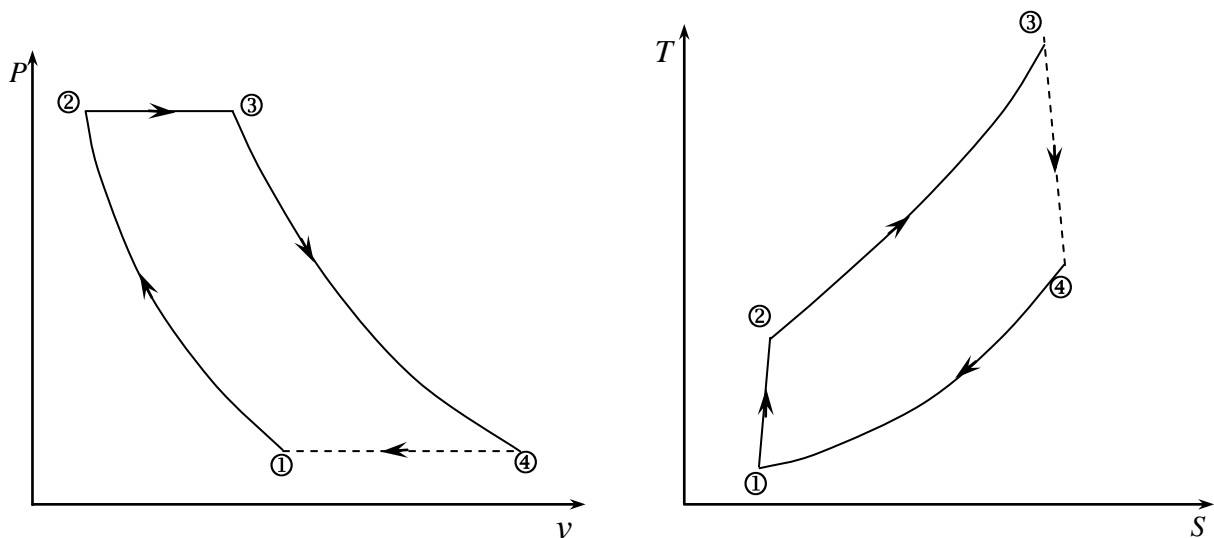


Fig.III.1 Cycle de Baryton théorique dans les diagrammes $P-v$ et $T-S$. [2]

a)- 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 est perdus dans l'atmosphère à travers la cheminée.

b)- 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.

III.4.3 Par le mode de construction

III.4.3.1 Turbine mono- arbre

Le compresseur et les sections de la turbine sont montés sur un même arbre ce qui leur permette de tourner à la même vitesse, ce type, utilisé pour les applications qui n'ont pas besoin des variations de vitesse telle que l'entraînement des génératrices pour la production de l'électricité.

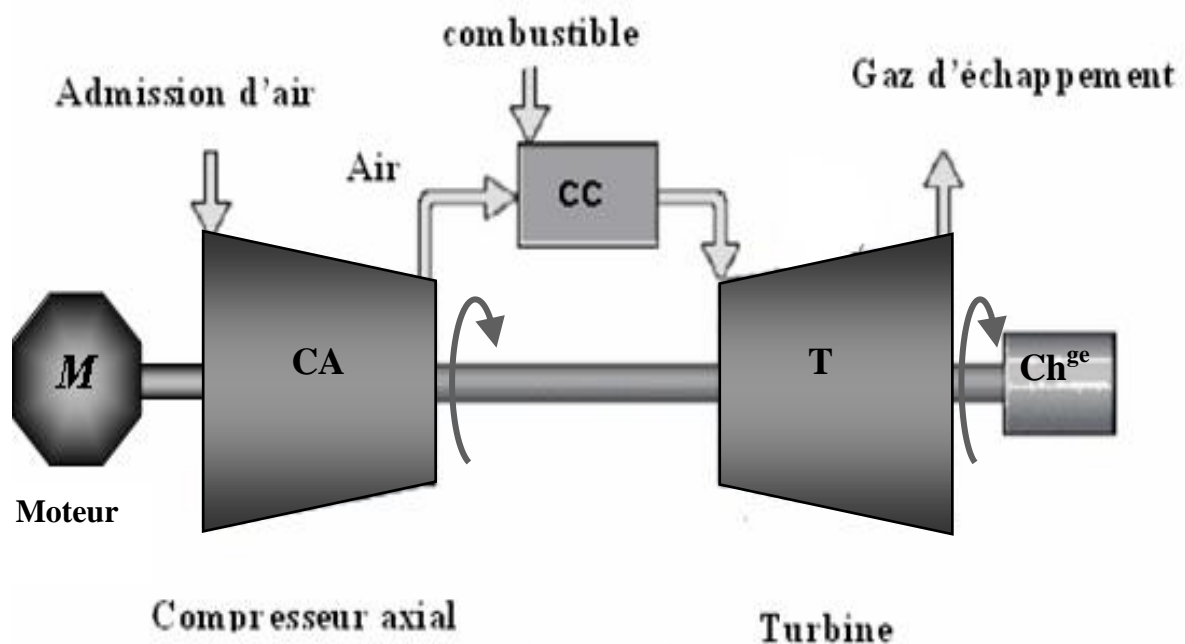


Fig.III. 2 Schéma la de Turbine mono- arbre [2]

III.4.3.2 Turbine bi- arbre

Les deux sections de la turbine ne sont pas reliées mécaniquement ce qui leur permette de tourner à des vitesses différentes. Ce type est utilisé dans les applications qui demandent une large variation de vitesse telle que l'entraînement des compresseurs. Le compresseur et la roue haute pression (TE₁) sont appelés générateur de gaz, généralement la vitesse de générateur de gaz est constante, par contre la vitesse du la roue basse pression (TE₂), varie selon le régime de la machine réce.

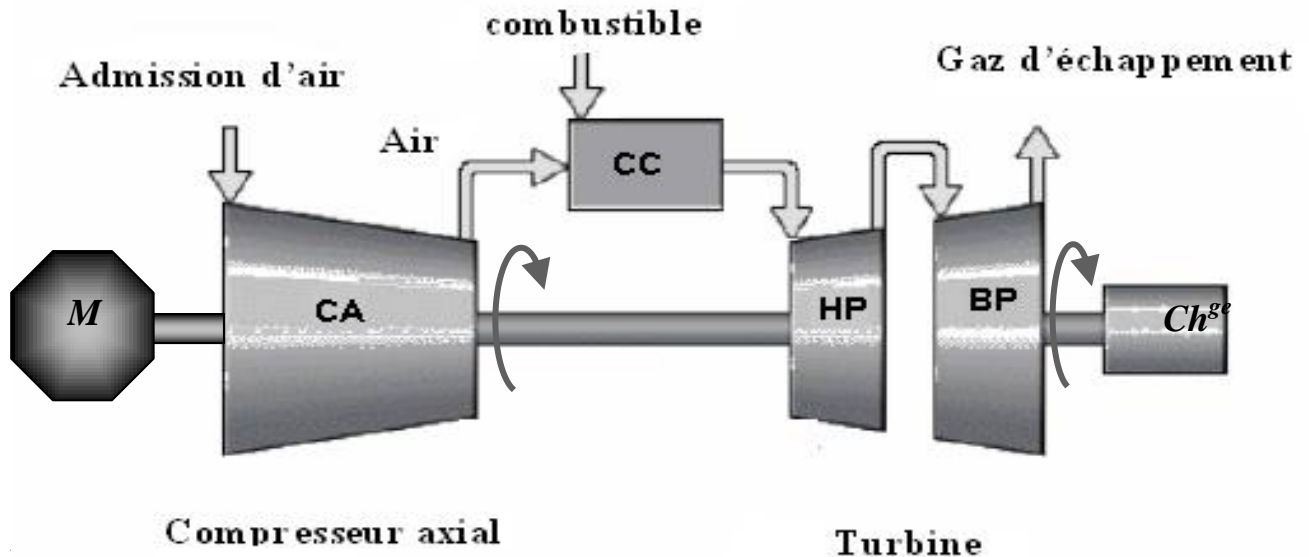


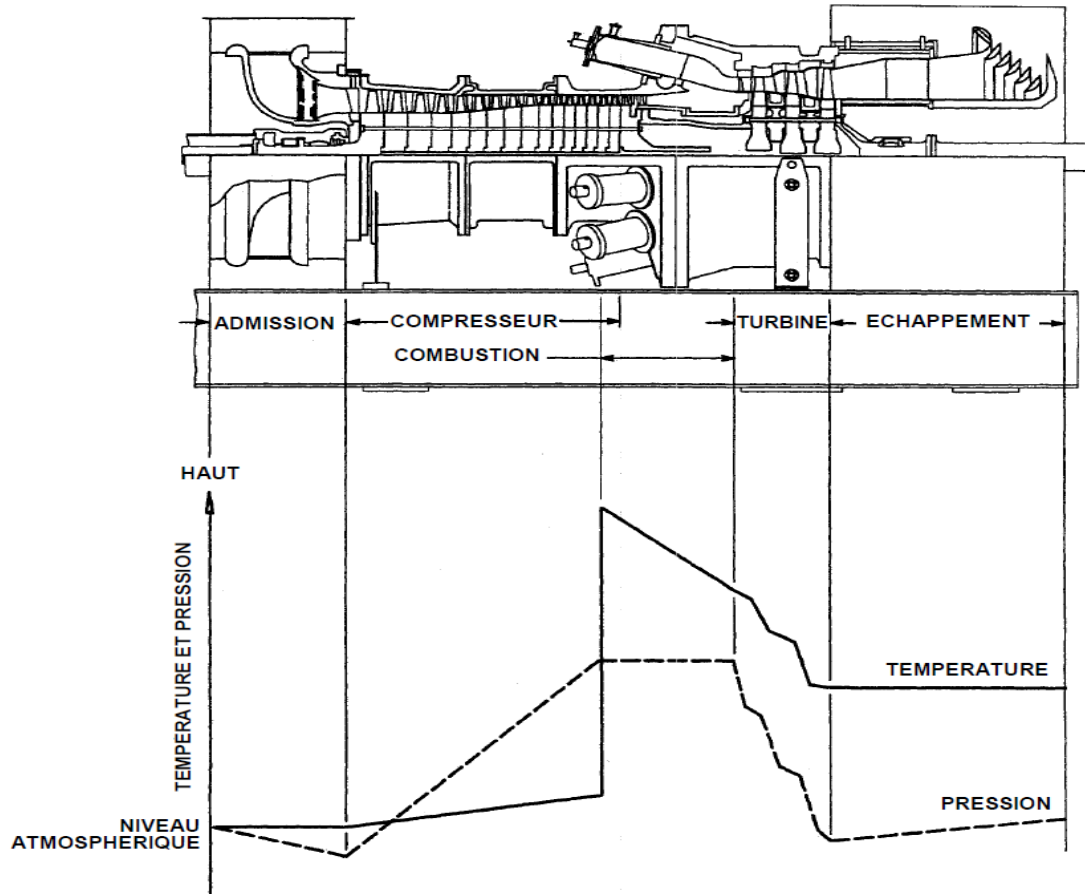
Fig.III. 3 Schéma la de turbine à gaz bi- arbre [2]

III.5 Principe de fonctionnement de la turbine à gaz

Une turbine à gaz fonctionne de la façon suivante :

- elle extrait de l'air du milieu environnant.
- elle le comprime à une pression plus élevée.
- elle augmente le niveau d'énergie de l'air comprimé en ajoutant et en brûlant le combustible dans une chambre de combustion.
- elle achemine de l'air à pression et à température élevées vers la section de la turbine, qui convertit l'énergie thermique en énergie mécanique pour faire tourner l'arbre ; ceci sert, d'un côté, à fournir l'énergie utile à la machine conduite, couplée avec la machine au moyen d'un accouplement et, de l'autre côté à fournir l'énergie nécessaire pour la compression de l'air, qui a lieu dans un compresseur relié directement à la section turbine.
- elle décharge à l'atmosphère les gaz à basse pression et température résultant de la transformation mentionnée ci-dessus.

La (fig.III.4) montre les variations de pression et de température dans les différentes sections de la machine correspondant aux phases de fonctionnement mentionnées ci-dessus. [2]



**Fig.III.4 Les variations de pression et de température dans
Les différentes sections de la turbine [2]**

La (fig.III.4) met en évidence que la combustion se produit dans des conditions de pression presque constantes.

III.6) DESCRIPTION DE LA TURBINE A GAZ MS5002D

III.6.1 Définition

La turbine à gaz MS 5002D est une machine rotative à combustion interne, elle pressurise de l'air, le mélange avec un combustible et brûle ainsi le mélange dans des chambres de combustion. Les gaz ainsi produits sont détendus au niveau des aubes d'une turbine de détente. (Voir Fig.III.5)

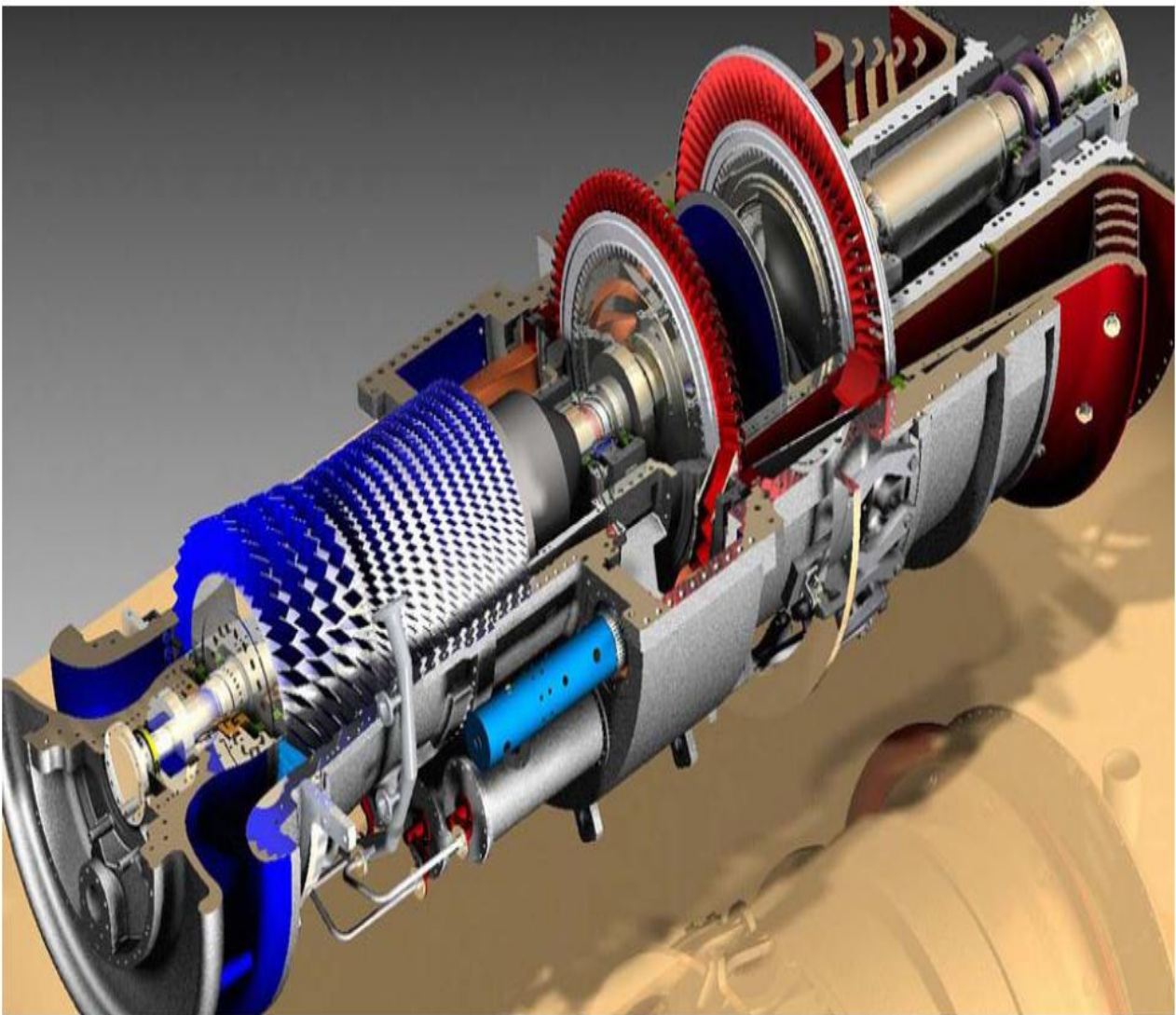


Fig. III.5 La turbine à gaz MS 5002D. [2]

III.6.2 Caractéristiques de la turbine à gaz MS 5002D (régime nominale) [2]

- MarqueGénérale électrique (Nuovo Pignone)
- Application de turbine à gaz.....commande mécanique
- Série du model.....MS 5002D
- Cycle.....Simple
- Rotation de l'arbre..... Sens inverse des aiguilles d'une montre
- Type de fonctionnement.....Continu
- Vitesse de la roue HP.....5100 tr/min
- Vitesse de la roue BP.....4700 tr/min
- Commande.....MARK V SPEED TRONIC système de commande électronique solide
- Protection (types de base)survitesse, surchauffe, vibration, détection de flamme
- Mécanisme de refroidissement Réducteur avec vireur
- Insonorisation.....Silencieux d'admission et échappement selon les exigences du site
- Système de démarrage.....Moteur électrique

Plaque d'identification du régime normal de la turbine à gaz (condition ISO)

- Sortie de base.....43700hp
- Température d'aspiration.....15°C
- Pression d'échappement.....14, 7 PSI

Section du compresseur

- Nombre des étages du compresseur axial.....17etages
- Types de compresseur.....Flux axial, service sévère
- Fente de la caisse.....Bride horizontale
- Type des aubes directrices d'entréeVariable

Section de la turbine

- Nombre des étages de la turbine.....02(deux arbres)
- Fente de la caisseBride horizontale
- Directrice du première étage.....Fixe
- Directrice du deuxième étage.....Variable

Section de combustion

- Type 12 multiples foyers, type à flux inverses
- Configuration des chambres... .. Concentrique autour du compresseur
- Injecteurs de Combustible... .. Type combustible gazeux 1 par chambre
- Bougies d'allumages 2, type électrode
- Détecteur de flemmes... .. 4, type ultraviolet

Ensemble paliers

- Quantité04
- Graissage sous pression

III.6.3 Principe de fonctionnement de la turbine à gaz MS5002D

Le Rotor de la turbine haute pression/compresseur atteint d'abord 40% de la vitesse grâce au dispositif de lancement. L'air aspiré de l'atmosphère dans le compresseur est envoyé à l'aide de tuyaux aux chambres de combustion ou le combustible est débité sous pression (voir fig. 2). Une étincelle haute tension allume le mélange combustible-air. (Après l'allumage la combustion continuera dans la chambre). Les gaz chauds font monter la vitesse du rotor turbine haute pression/compresseur. A son tour elle fait augmenter la pression de refoulement du compresseur. Quand la pression commence à monter, le rotor de la turbine basse pression commencera à tourner et les deux rotors de la turbine accéléreront jusqu'à la vitesse de service. Les produits de la combustion (gaz haute pression et la température) se détendent d'abord à travers la turbine haute pression et en suite à travers la turbine basse pression et sont déchargés à l'atmosphère.

En passant à travers la turbine haute pression et les aubes de la turbine, ces gaz de détenteur et font tourner la turbine aussi bien que le compresseur soumette les auxiliaires entraînés à un couple de sortie (voir Fig. 3) Les gaz font tourner aussi la turbine à basse pression qui entraîne la charge avant d'être évacués.

L'emploi de deux roues de turbine séparées permet aux deux arbres de tourner à des vitesses différentes pour répondre aux exigences de charge variable du compresseur centrifuge tout en permettant au générateur de gaz haute pression de fonctionner à la vitesse nominale du compresseur axial [2]

Quant on le regarde du côté admission, le rotor tourne en sens inverse des aiguilles d'une montre.

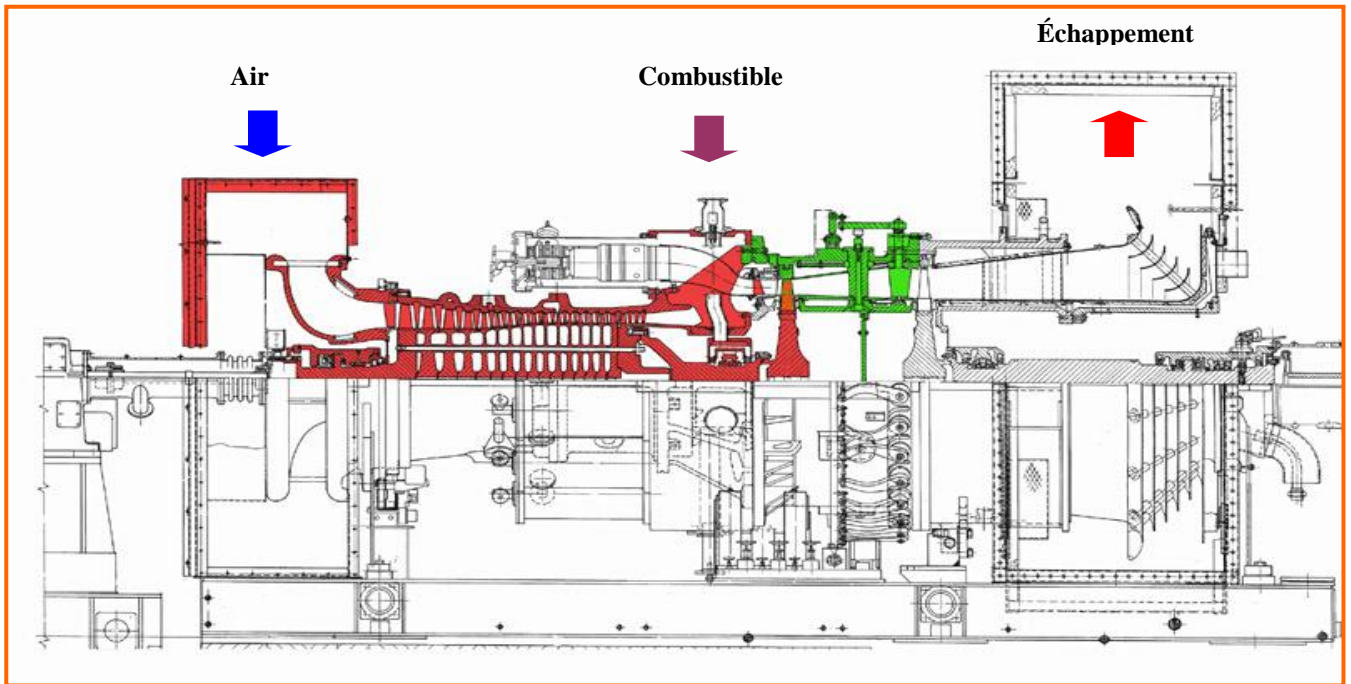


Fig.III.6 Présentation de la turbine MS 5002D. [2]

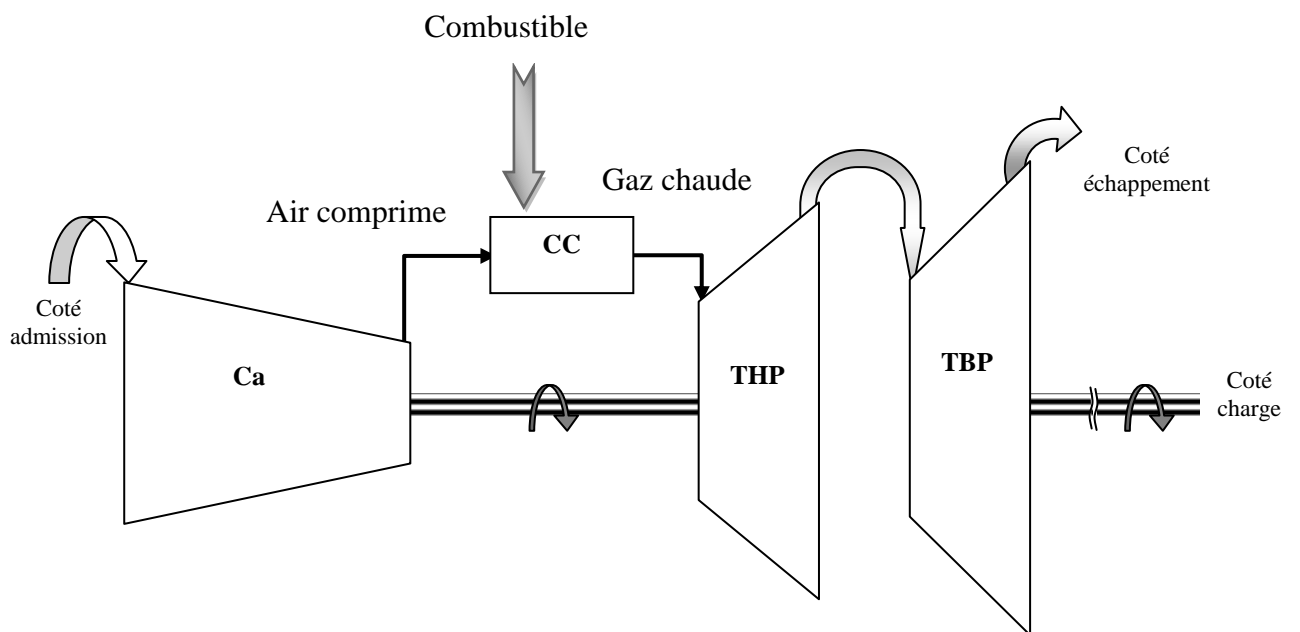


Fig.III.7 Schéma de la turbine à gag MS 5002D. [2]

III.6.3.1 Cycle théorique de la turbine

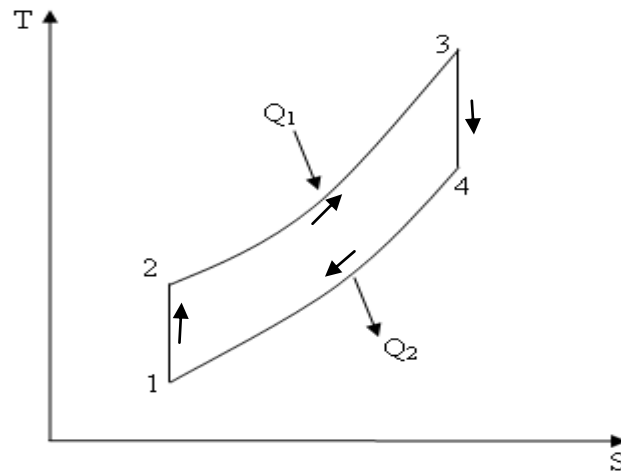


Fig. IV.4 Diagramme thermique de la turbine. [2]

1-2: Compression isentropique dans le compresseur.

2-3: Combustion (apport de chaleur) dans la chambre de combustion à pression constante.

3-4: Détente isentropique dans les roues HP et BP.

4-1: Echappement.

Q1: la quantité de chaleur à combustion

Q2: la quantité de chaleur à l'échappement

III.6.4 Sections principales d'une ITG (installation de turbine à gaz)

III.6.4.1 Section compresseur

La section compresseur axiale comprend le rotor et le corps du compresseur qui comportent seize (17) étages de compression, les aubes variables de la directrice et deux déflecteurs de sortie [2]

III.6.4.1.1 Le rotor : dans le compresseur, l'air est comprimé par une série d'aubes du rotor qui donnent la force nécessaire, pour comprimer l'air à chaque étage de la compression et les stators guident l'air, pour le faire pénétrer dans l'étage successif du rotor.

Les aubes du rotor sont insérées dans des rainures et maintenues dans une position axiale par l'empilage et le bouclage au bout des rainures. Les disques et le demi-arbre sont assemblés pour maintenir la conicité, ils sont maintenus par des tirants.

III.6.4.1.2 Le stator : dans la section compresseur la partie stator (corps du compresseur) est composée de quatre éléments qui sont :

a) Corps coté aspiration du compresseur

Qui se trouve à la partie avant, sa fonction est de diriger l'air de façon uniforme vers le compresseur, il porte le premier palier du stator.

b) Corps partie avant du compresseur

Contient les quatre premiers étages du stator, il transmet également les charges de structure qui viennent du corps adjacent vers le support avant.

c) Corps partie arrière du compresseur

Contient les derniers étages du stator, les orifices d'extraction prévus dans ce corps permettent de prélever l'air au niveau du 10^{ème} étage du compresseur. Cet air est employé pour refroidir et également assurer des fonctions d'étanchéité et contrôler les pulsations au démarrage et à l'arrêt.

d) Corps du compresseur coté refoulement

C'est l'élément final de la section compresseur. C'est la pièce coulée la plus longue. Elle est située à mi-chemin entre les supports avant et arrière. Sa fonction est de contenir les sept derniers étages du compresseur et forme avec la paroi intérieure et extérieure le diffuseur du compresseur qui relie les stators du compresseur et de la turbine. Ce corps porte le deuxième palier de la turbine.

Le rotor fournit de l'énergie cinétique à l'air. Dans le stator l'énergie cinétique se transforme en énergie de pression. Ce passage est nécessaire par le fait d'avoir une compression dans la pression de sortie supérieure à la pression d'entrée, ainsi qu'une conservation de débit, pour ne pas perturber le fonctionnement et éviter le pompage du compresseur. Les fonctions du corps de refoulement du compresseur sont :

- d'équilibrer les pompages du compresseur,
- de former les parois interne et externe du diffuseur et de relier le compresseur aux stators de la turbine.
- Il sert également de support à la directrice de la turbine de premier étage.
- convertir une partie de la vitesse de sortie du compresseur en pression supplémentaire.

III.6.4.1.5 Le rôle du compresseur axial

Se résume essentiellement en (Fig .IV.5) :

- Assurer l'alimentation des chambres de combustion avec l'air comprimé, pour l'opération de combustion.
- Assurer un débit et une pression aussi élevés pour avoir une grande puissance utile.

- Assurer l'air utilisé pour le refroidissement des pièces exposées aux fortes contraintes thermiques.

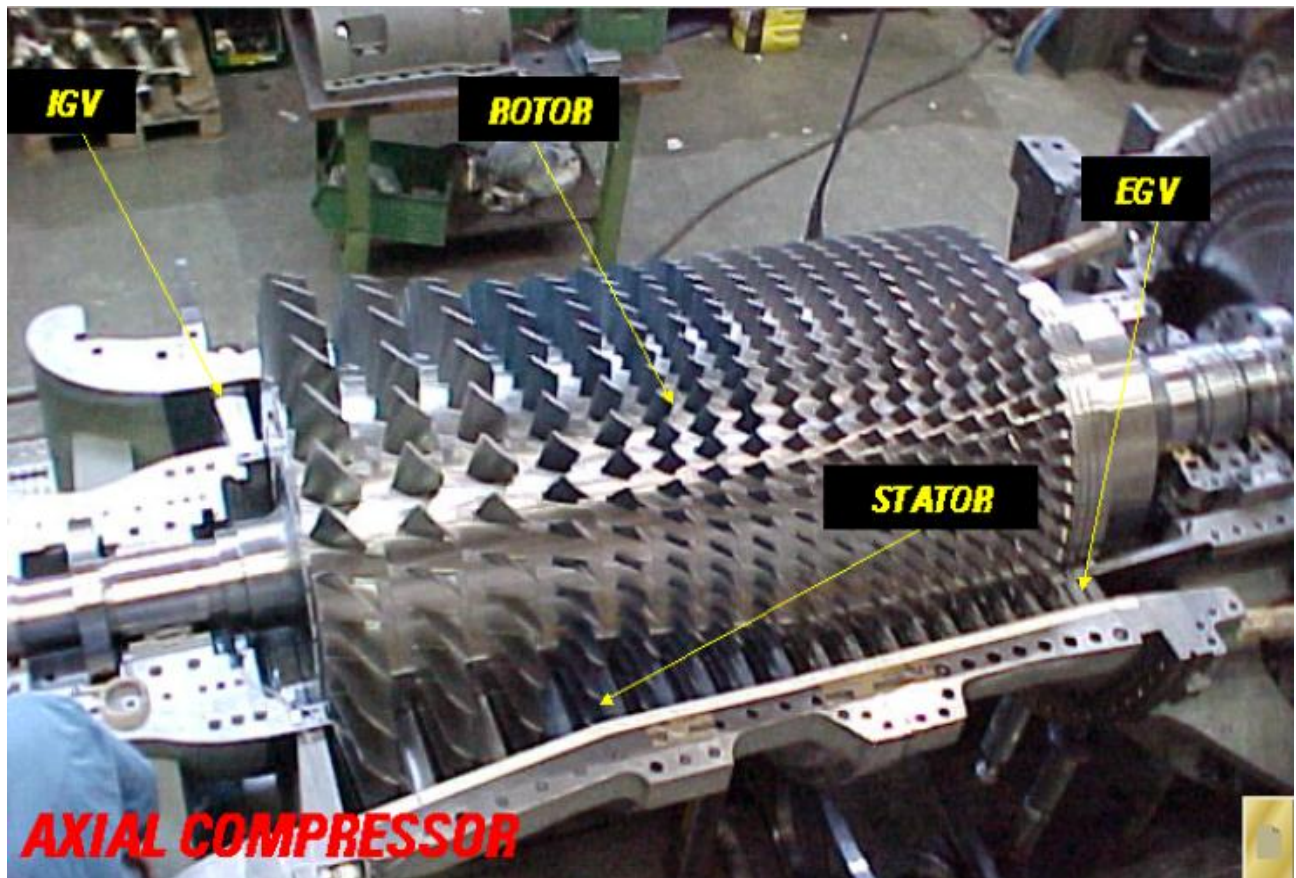


Fig.III.8 Compresseur axial [2]

IGV: Inlet Guid Valve

EGV: End Guid Valve

III.6.4.2 Section combustion

La section combustion de la turbine à gaz MS 5002D comporte, l'enveloppe de combustion qui est composée de douze corps de combustion extérieure, chaque corps est composé de : tube à flamme, injecteur de combustible, pièce de transition, tube d'interconnexion, bougie d'allumage pour la chambre de combustion N° (1et12), détecteur de flamme (2 ; 3 ; 10 et 11) et divers garnitures (voir Fig.III.9).

L'enveloppe de combustion est un élément soudé entourant la partie arrière du corps de refoulement du compresseur et recevant l'air de refoulement du compresseur à flux axial. Le combustible est envoyé dans chaque chemise des chambres de combustion par un injecteur de combustible monté dans le couvercle de cette dernière et pénétrant dans la chemise. Lorsque l'allumage se produit dans les tubes foyer, ils vont allumer le mélange air combustible des autres chambres.



Fig .III.9 Composants de la section de combustion. [2]

a)- Enveloppe de combustion

L'enveloppe de combustion soutient les douze corps de combustion qui renferment les douze pièces de transition. C'est une enceinte soudée qui reçoit l'air de refoulement du compresseur à flux axial. L'enveloppe est montée dans la partie arrière du refoulement du compresseur (voir Fig.III. 11)

b)- Corps de combustion

Les brides arrière des douze corps de combustion sont montées sur la surface verticale avant de l'enveloppe de combustion avec chaque corps par les tubes foyer. Les injecteurs de combustibles montés dans les couvercles du corps de combustion pénètrent dans les chambres et assurent l'alimentation en combustible

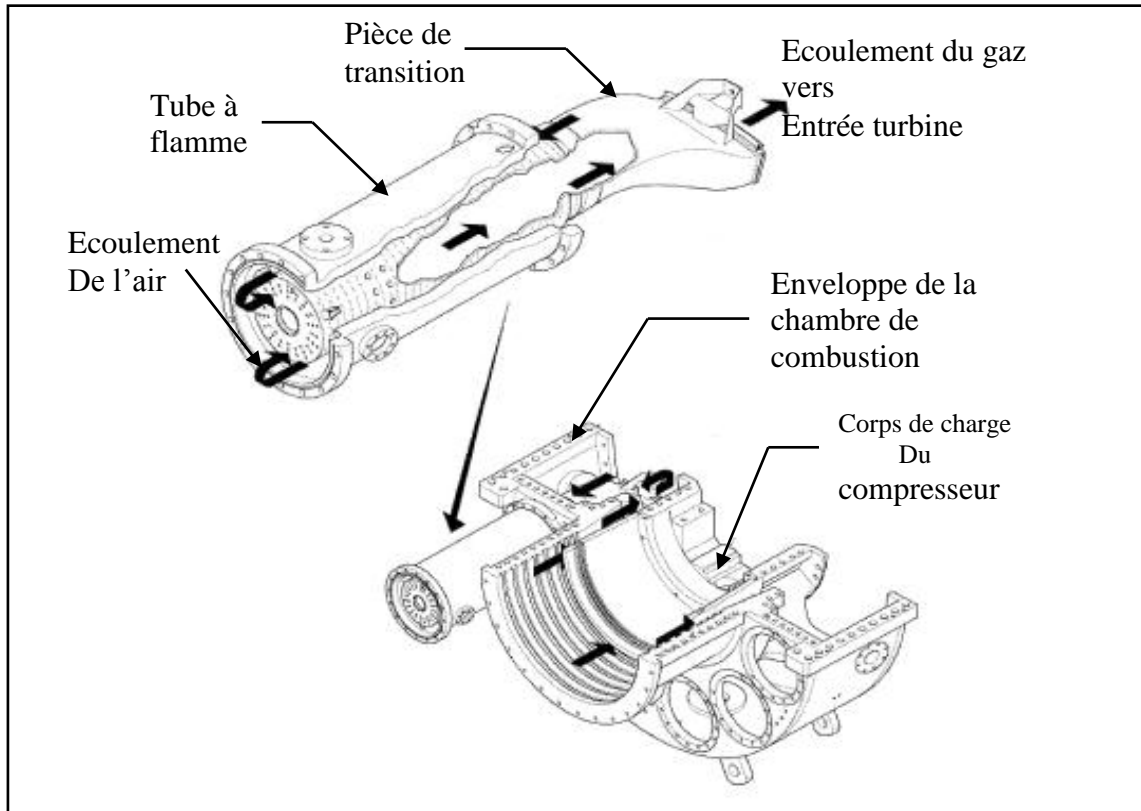


Fig.III.10 Ecoulement de l'air et du gaz par la section combustion de la turbine a gaz simple cycle. [2]

c)- Bougie d'allumage

Le déclenchement de la combustion du mélange combustible est assuré par les bougies d'allumages avec électrode rétractive. Deux bougies sont installées dans chacune des deux chambres de combustion (1 et 12) et reçoivent l'énergie de transformateur d'allumage (voir Fig.III.9). Les autres chambres sont allumés à travers les tubes d'interconnexions.

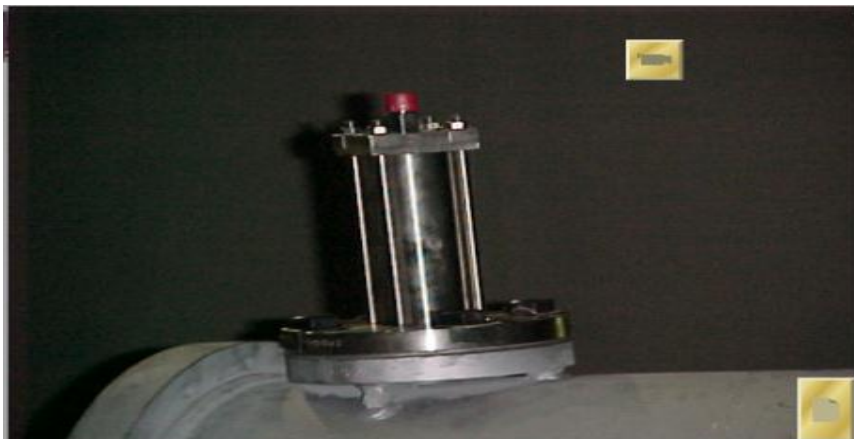


Fig.III.11 Bougie à flamme. [2]

d)- Détecteur de flamme ultraviolette

Pendant la séquence de lancement, il faut envoyer une indication de présence ou absence de flamme au système de commande, pour cette raison un système de contrôle de flamme est utilisé.

Le capteur de flamme est sensible à la présence des radiations (ultraviolet) émises par la flamme aux hydrocarbures.

Quatre détecteurs de flammes sont installés dans chacune des chambres de combustions (2 ; 3 10 et11)

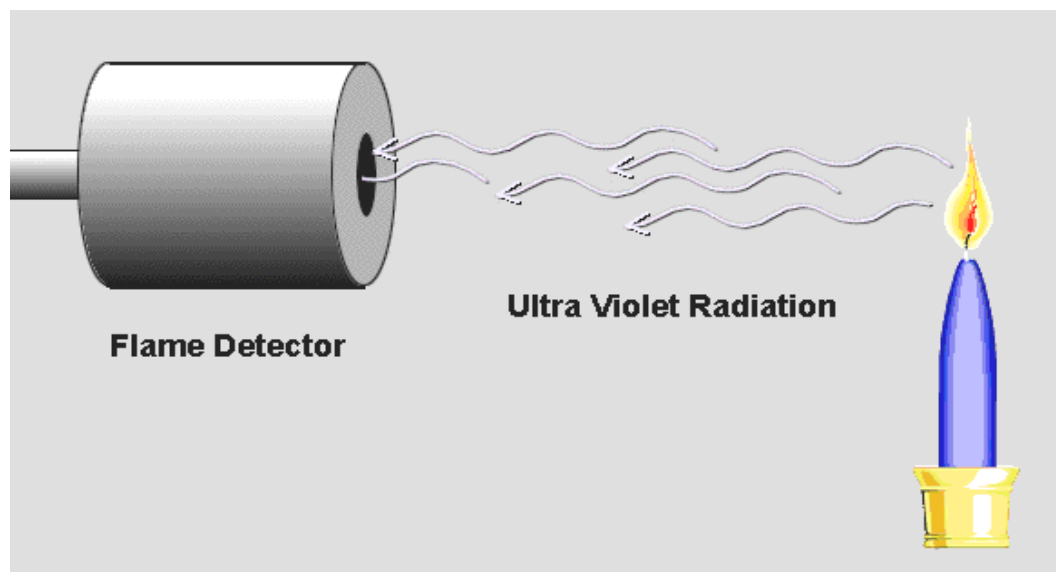


Fig.III.12 Détecteur de flamme. [4]

III.6.4.2.1 Le rôle de la chambre de combustion

Le rôle de la chambre de combustion est de fournir la quantité de chaleur nécessaire pour le cycle de la turbine à gaz. Les formes des chambres de combustions sont étudiées pour remplir les conditions suivantes:

- la durée de vie la plus longue possible.
- avoir un encombrement minimal.
- garantir un bon allumage et la stabilité de la flamme.
- assurer la combustion la plus complète possible.
- éviter le dépôt de carbone sur les brûleurs et les parois, ainsi que des fumées.
- réduire les pertes de charges.

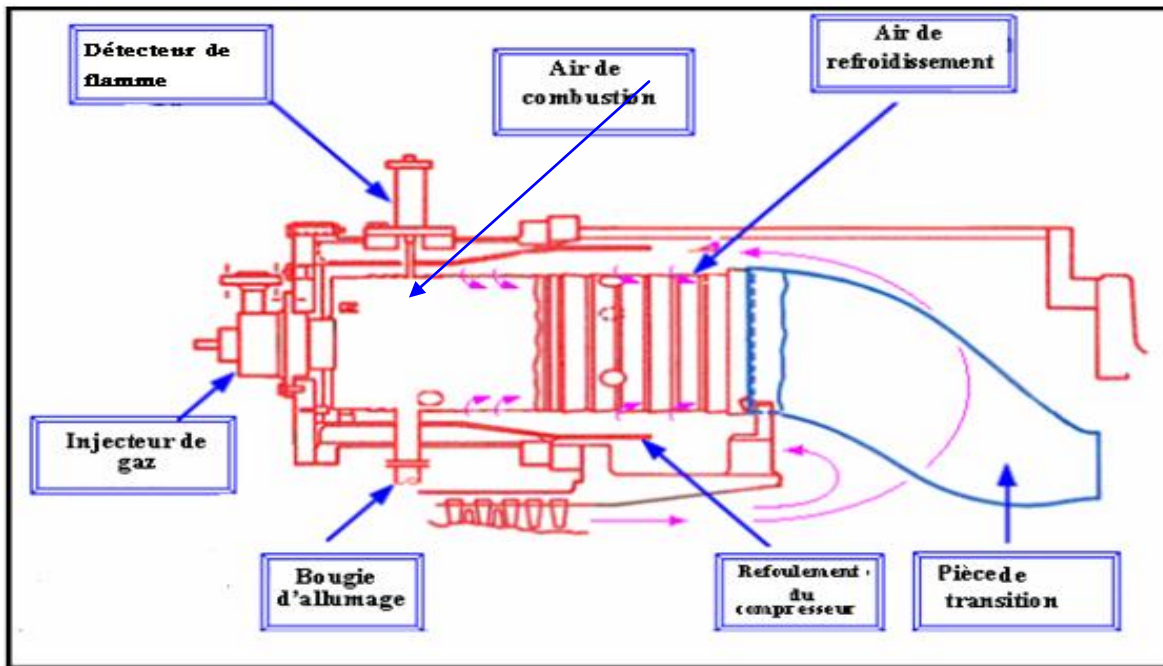


Fig.III.13 Chambre de combustion. [2]

III.6.4.3 Section turbine

La section turbine comprend le corps rotor de la turbine (enveloppe de turbine). L'aubage directrice du premier étage, la roue de la turbine premier étage (HP), la roue de la turbine du second étage (BP), l'ensemble diaphragme, ensemble d'étanchéité et enfin la conduite de gaz inter étages.

Le stator de cette section est en deux parties, séparées par un plan de joint médian horizontal afin de faciliter l'entretien, le corps de la turbine contient les ensembles suivants qui établissent un chemin au flux de gaz à partir des chambres de combustion, à travers des roues de la turbine vers le cadre d'échappement: la directrice premier étage, conduit du gaz inter étages et enfin les directrices du deuxième étage (voir Fig. IV.10)

a) Directrices premier étage

Elles sont supportées dans la veine de gaz par un dispositif de fixation prévu dans le corps de la turbine. L'air refoulé par le compresseur à partir des enveloppes de combustion vient dans l'anneau support de retenu des aubes creuses de la directrice, pour s'échapper par les trous d'extraction dans la veine de gaz vers l'échappement. Ce flux d'air permet le refroidissement des aubes de la directrice.

b) Directrices deuxième étage

Elles sont composées d'aubes orientables, qui forment un angle variable avec la directrice d'écoulement des gaz dans la section annulaire juste avant le dixième étage de la turbine (BP). On peut donner une rotation grâce à des axes qui dépassent des manchons prévus dans le

corps de la turbine, les leviers clavetés à l'extrémité de ces axes et sont reliés par des biellettes à des points de la couronne de contrôle qui sont actionnés par un piston hydraulique.

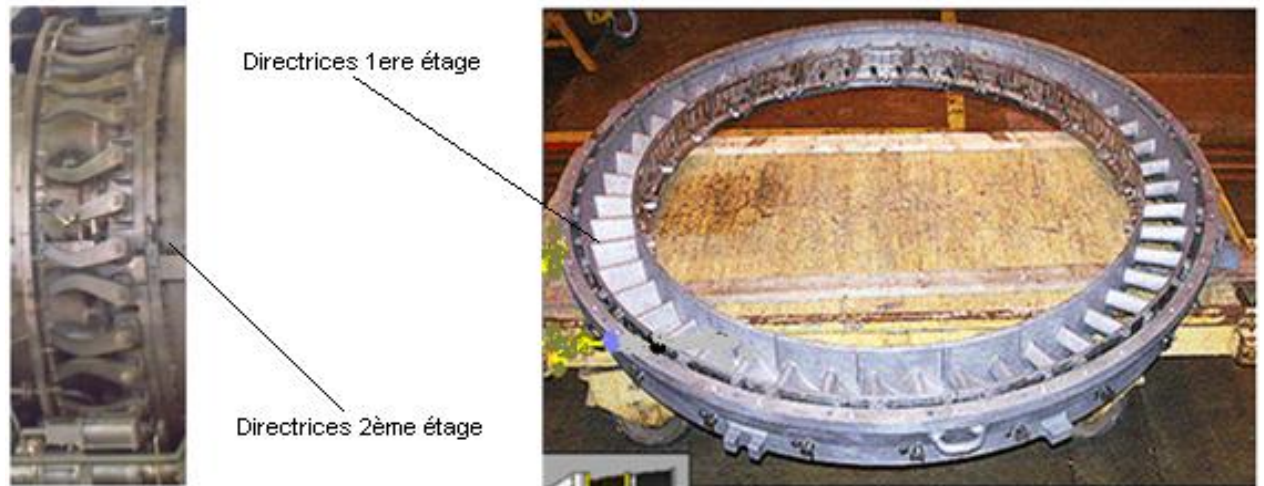


Fig.III.14 Directrices 1^{ère} étage et 2^{ème} étage. [2]

c) Roues de la turbine

Il existe deux roues séparées dans cette turbine à gaz, la première HP qui commande le compresseur axial, et la deuxième BP qui entraîne les trois compresseurs centrifuges. Les deux roues sont indépendantes mécaniquement ce qui leur permet de tourner à des vitesses différentes (voir Fig. III.15)



Fig. III.15 La roue HP et la roue BP. [2]

III.6.5 Systèmes auxiliaires principaux

Les systèmes auxiliaires d'une turbine à gaz sont très importants, car la continuité de service et la durée de vie de la turbine dépendent en grande partie de leurs caractéristiques de précision, rapidité et leurs temps de réponse [2]

III.6.5.1 Système d'admission

Le système d'admission d'une turbine à gaz a pour but de diriger l'air de combustion dans la section d'admission du compresseur axial afin de garantir:

- le degré de filtration pour le fonctionnement correct du compresseur et de la turbine dans les limites des conditions ambiantes existantes de l'installation.
- un débit d'air régulier vers la section d'admission du compresseur, et donc un fonctionnement fluïdo-dynamique régulier de ce dernier.

Le système d'admission comprend les éléments principaux suivants, filtre d'admission, conduite, silencieux, coude, caisson d'admission et accessoires. L'air entre dans le filtre, traverse la conduite, le silencieux, le coude et le caisson d'admission et enfin le compresseur.

La configuration interne du filtre choisi, le degré d'insonorisation obtenue dans le silencieux et la géométrie du coude est toute des facteurs qui influencent sur la résistance rencontrée par l'air qui traverse tous ces éléments.

La chute de pression provoque une réduction du débit massique de l'air, qui a comme conséquence la baisse de la puissance et l'accroissement de la consommation spécifique. (Voir Fig.III.16)

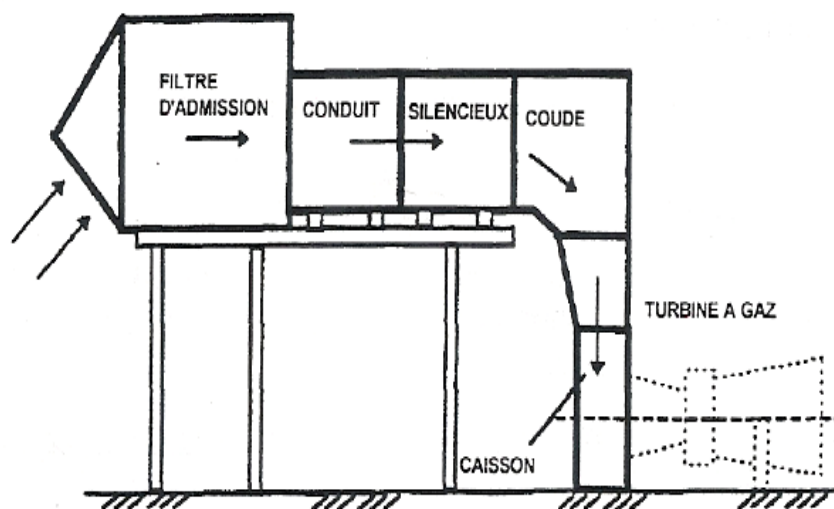


Fig.III.16 Système typique d'admission. [2]

III.6.5.2 Système de lancement

Avant l'amorçage et le démarrage de la turbine à gaz, elle doit être tournée ou mise en marche par équipement auxiliaire. Cela se fait par un moteur électrique à induction, fonctionnant par un convertisseur de couple pour assurer le couple démarreur et la vitesse exigée par la turbine pour la mise en service. Les composants du système de démarrage assurent également la rotation à faible vitesse de la turbine pour des buts de refroidissement après l'arrêt.

Les composants du système de démarrage à moteur électrique comprennent :

Le moteur à induction. Convertisseur de couple à mécanisme d'encliquetage, embrayage à encliquetage de la manivelle de démarrage et un système à encliquetage hydraulique.

III.6.5.3 Système d'échappement

La section d'échappement comporte l'ensemble du cadre d'échappement et la chambre d'échappement. L'ensemble cadre d'échappement est une structure principale faisant partie de la turbine à gaz, il sert de support aux ensembles suivants:

Les paliers N° 3 et 4, l'ensemble des tuyauteries d'huile de graissage et de vidange, les tuyauteries pour le refroidissement de la turbine, les tuyauteries pour l'air d'étanchéité, des labyrinthes de paliers, les segments de la roue du deuxième étage de la turbine.

La chambre d'échappement est une structure rectiligne en forme de boîte dont laquelle les gaz d'échappement sont rechargés et diffusés. A partir de cette chambre les gaz sont conduits vers l'atmosphère. La chambre d'échappement est située à l'extrémité arrière du socle de la turbine.

III.6.5.4 Réducteur

Accouplé directement au rotor de la turbine et il est utilisé pour entraîner les divers auxiliaires. Il est placé sur le socle des auxiliaires et comprend le train d'engrenages nécessaire, à permettre une réduction de vitesses désirées. Les accessoires entraînés par le réducteur auxiliaire, sont la pompe hydraulique principale ainsi que la pompe à huile de graissage principale [2].

III.6.5.5 Système d'huile de graissage

La turbine à gaz est graissée par un système sous pression en boucle fermée, comprenant un bac à huile, des pompes, des échangeurs de chaleur (réfrigérant huile), filtres, vannes et des dispositifs divers qui contrôlent et protègent le système. L'huile de graissage venant du système circule jusqu'à atteindre les paliers principaux

De La turbine les accessoires et les équipements de charge entraînés, l'huile pour le système d'alimentation hydraulique, le système d'huile de commande et le système des dispositifs de lancement viennent aussi de cette source.

III.7 Conclusion

Dans cette partie nous avons abordés la définition générale de la turbine à gaz l'historique de cette machine et aussi nous avons présentés les domaines d'utilisations et la classification des turbines à gaz.

Et nous avons fait une étude bien déterminée de la turbine à gaz MS5002D. En expliquant le principe de fonctionnement et aussi les caractéristiques de différentes sections de la turbine.

IV.1 Introduction

L'objectif principal des études de fiabilité est d'aider à obtenir des meilleures conceptions. Toutes les analyses faites en fiabilité mécanique doivent se concrétiser par des décisions techniques et non pas par une simple satisfaction de notre rigorisme scientifique. De ce point de vue nous n'insisterons jamais assez sur l'importance de la conception et la prise de décision : « concevoir par la fiabilité », telle doit être la première devise du fiabiliste mécanicien.

Ni au moins, l'analyse de la fiabilité opérationnelle d'un système, en s'appuyant sur les données de retour d'expérience, nous permet de définir certains objectifs :

- Mesurer dans le temps une garantie.
- Evaluer rigoureusement un degré de confiance.
- Déchiffrer une durée de vie.
- Déterminer un programme d'intervention.
- Prévoir un stock rassurant de pièces de rechange.

Ces objectifs nous permettent une meilleure exploitation des équipements et ce, afin d'optimiser leur fonctionnement et satisfaire la production qui est en finalité le but essentiel de toute entreprise.

Dans l'étude qui suivra, appliquée à une turbine à gaz (TAG), nous allons pencher sur chacun de ces objectifs avec plus ou moins d'insistance.

IV.2 Définitions et notations

IV.2.1 Fiabilité

Aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, durant un intervalle de temps donné.

IV.2.1 Disponibilité

Aptitude d'un bien à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou durant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieur est assurée.

IV.2.3 Maintenabilité

Dans des conditions données d'utilisation, aptitude d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état où il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits.

IV.2.4 Relation entre les différentes grandeurs caractérisant la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité d'un équipement

La figure IV.1 schématisé les états successifs que peut prendre un système réparable.

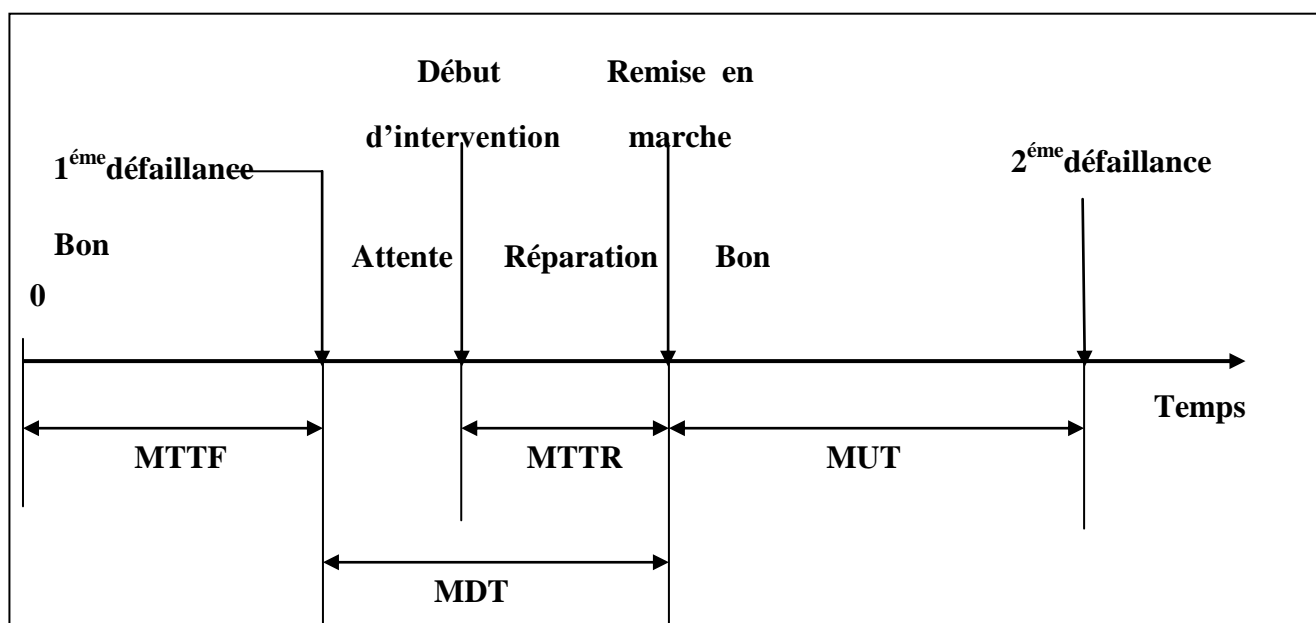


Fig IV.1 Les durées caractéristique de FDM.



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

IV.3 Rappels de statistiques

IV.3.1 Notion de Variable aléatoire

On appelle variable aléatoire T , une variable telle qu'à chaque valeur t de T on puisse associer une probabilité. Une $V.A$ peut être discrète ou continue. La correspondance entre $V.A$ et la probabilité qui lui est associée établit une loi de probabilité. De ce fait, on distingue les lois continues et celles discrètes.

IV.3.2 Définition probabiliste de la fiabilité et commentaires

IV.3.2.1 Définition la fiabilité AFNOR 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.

IV.3.2.2 Commentaire sur les quatre concepts de la définition

- **Probabilité** : c'est le rapport

$$\frac{\text{nombre de cas favorables}}{\text{nombre de cas possibles}} < 1 \quad (\text{IV. 01})$$

Dans l'hypothèse d'équiprobabilité.

On notera $R(t)$ la probabilité de bon fonctionnement à l'instant t . Le symbole R a pour origine le mot anglais reliability.

On notera $F(t)$ la fonction définie par $F(t) = 1 - R(t)$ probabilité complémentaire (ou événement contraire), donc $F(t)$ est la probabilité de défaillance à l'instant t et $R(t) + F(t) = 1$.

- **Fonction requise** : nous parlerons de (fonction requise) pour un composant, de (mission) ou (de service attendu) pour un système. La définition de la fonction requise implique la définition d'un seuil d'admissibilité au-delà duquel la fonction n'est plus remplie.
- **Condition d'utilisation** : définir les conditions d'usage revient à définir l'environnement du système et ses variations, ainsi que les contraintes mécaniques, chimiques, vibratoires, thermiques, etc. auxquelles il est soumis. Il est évident que le même matériel soumis à deux environnements différents n'aura pas la même fiabilité.

- **Période de temps** : c'est la définition de la durée de mission T, mais à chaque instant t_i est associée une valeur de fiabilité $R(t_i)$ décroissante.

Finalement, la fiabilité est la probabilité de bon fonctionnement à l'instant t_i ,

Nous définissons la fonction de fiabilité par, d'après :

$$R(t_i) = \frac{N_i}{N_0} = 1 - F(t_i) \quad (\text{IV.02})$$

N_0 : le nombre d'éléments bons à t_0

N_i :le nombre d'éléments bons à t_i

IV.3.3 Fonction de répartitions

C'est la probabilité pour que le dispositif soit en panne à l'instant t_i nous définissons la fonction de réparation :

$$F(t_i) = \frac{\sum n_i}{N_0} = \frac{N_0 - N_i}{N_0} \quad (\text{IV.03})$$

n_i : le nombre d'élément defaillant à t_i

IV.3.4 La densité de probabilité

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

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = - \frac{dR(t)}{dt} \quad (\text{IV.04})$$

$$f(t_i)\Delta t_i = \frac{n_i}{N_0} \quad (\text{IV.05})$$

Δt_i : L'intervalle de temps observé $t_{i+1} - t_i$

IV.3.5 Taux de défaillance

Nous définissons le taux de défaillance par tranche par la relation :

$$\lambda(t_i) = \frac{f(t_i)}{R(t_i)} = \frac{n_i}{N_i \Delta t_i} \quad (\text{IV.06})$$

IV.3.6 Principales lois utilisées

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

a) 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.

b) 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 mécaniques.

c) 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.

d) 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 :
$$m = \lambda t \quad (IV.07)$$

- Sa fréquence :
$$\Pr[x = k] = \frac{m^k}{k!} e^{-m} \quad (IV.08)$$

- Sa fonction de répartition :
$$F(x) = \sum_{k=0}^x \frac{m^k}{k!} e^{-m} \quad (IV.09)$$

IV.4 Etude de la fiabilité de la turbine a gaz

IV.4.1 Situation du problème et objectif de l'étude

L'exploitation normale d'une turbine à gaz dans un environnement rude tel que le Sahara nécessite une étude et un diagnostic rigoureux afin d'assurer un bon fonctionnement de l'unité. Dans cette étude, on s'est intéressé à des données techniques de terrain, recueillis de l'historique d'une installation de turbine à gaz (expérience passive) afin d'évaluer au mieux sa fiabilité et sa sûreté de fonctionnement ainsi que de proposer un planning scientifique des actions de maintenance préventive.

IV.4.2 Fiabilité opérationnelle et fiabilité prévisionnelle

La fiabilité prévisionnelle (ou technique) caractérise seulement les possibilités techniques de l'équipement en dépendance de sa construction et de sa qualité d'élaboration, ceci à condition que les règlements en matière de technologie d'exploitation et d'entretien soient respectés. Elle caractérise le niveau de conception de la machine.

La fiabilité opérationnelle (ou d'exploitation) se détermine par les conditions réelles d'exploitation de l'équipement en tenant compte de tous les facteurs. Elle est obtenue après une suite des défaillances potentielles voir la figure :

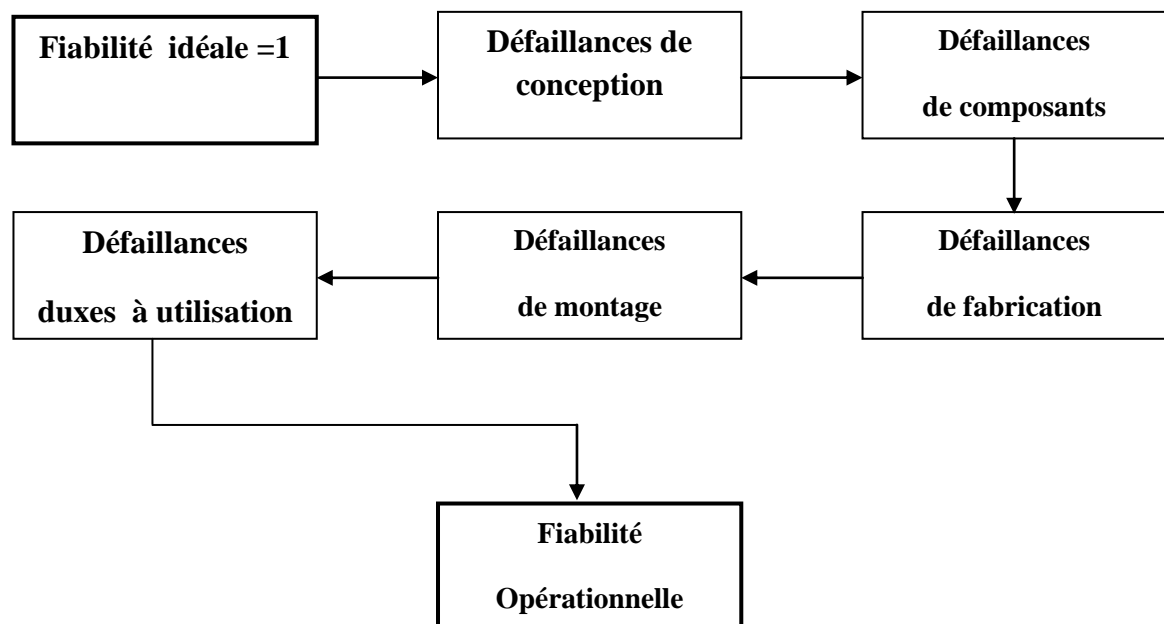


Fig IV.2 Fiabilité opérationnelle et fiabilité prévisionnelle

IV.4.3 Analyse de la fiabilité à partir du modèle de weibull

IV.4.3.1 Domaine d'utilisation de la loi de weibull

La loi de weibull à trois paramètres est très (souple), ce qui lui permet de s'ajuster à un grand nombre d'échantillons prélevés au long de la vie d'un équipement .Elle couvre les cas de taux de défaillance variables, décroissants (période de jeunesse) ou croissants (période de vieillesse). Son exploitation fournit :

- une estimation de la MTBF de la population de défaillances.
- les équations de $R(t)$ et de $\lambda(t)$, ainsi que leurs variations sous forme graphique.
- mais aussi le paramètre de forme β qui peut orienter un diagnostic, sa valeur étant caractéristique de certains modes de défaillance.

IV.4.3.2 Méthodologie de l'analyse de fiabilité

1. Préparation des données.
2. Détermination des valeurs des trois paramètres β, η, γ .
3. Détermination de la MTBF
4. Exploitation des résultats.

IV.4.3.3 Description de l'échantillon

Evaluer la fiabilité d'un équipement par l'obtention d'informations sur ses composants. Elles sont relatives à des évènements (défaillances) survenus lors du fonctionnement ou de la mise en essais de cet équipement.

Très schématiquement, la démarche consiste à observer pendant un certain temps de fonctionnement, dans des conditions réelles d'utilisation, une turbine à gaz auquel on s'intéresse et à répertorier toutes les défaillances qui surgissent et les informations relatives à celle-ci (TBF). On obtient ainsi les données de base qui permettent de quantifier la fiabilité de la TAG.

Historique des pannes de la turbine MS5002D

N°	TBF (h)	Temps d'arrêt (h)	DESIGNATION DES TRAVAUX
1	7997	643	CI : Inspection des chambres de combustion
2	8065	575	Révision des veines chaudes (HGPI) et changement des Twist-lock
3	6827	1813	CI : Inspection des chambres de combustion
4	6864.11	1775.89	MI : Révision générale
5	8501.1	138.9	CI : Révision des chambres de combustion
6	7221.51	1418.49	Révision HGPI, changement IGV et changement de la pompe HP principale
7	8464.94	175.06	CI : Inspection des chambres de combustion, des joints et accouplements cotés charge
8	6717.18	1922.82	Inspection des disques de poussées axiales
9	3528	5112	MI : Révision générale
10	5860.87	2779.13	Inspection des chambres de combustion
11	6891.7	1748.3	Révision HGPI

Tableau IV.1 historique des pannes de la turbine MS5002D.

Les paramètres de weibull issue d'un traitement informatique (Loglaala) on trouve :

- **B = 3.73**
- **$\eta = 7807.27$ h**
- **MTBF = 7041.77 h**
- **$\gamma = 0$**

IV.4.3.4 Regroupement en classe

Dans ce cas, $N = 11$ et d'après la formule de **Stringers** d'après :

$$K = 1 + 3,3 \log \sum_{i=1}^{11} n_i \quad (\text{IV. 10})$$

A.N: $K = 1 + 3,3 \log 11 = 4,44$ On prend $K = 5$

VI.4.3.5 L'intervalle de temps entre deux classes

$$\Delta T = \frac{\text{TBF max}}{K} \quad (\text{IV. 11})$$

A.N: $\Delta T = \frac{8501.1}{5} = 1700.22 \text{ h}$

IV.4.3.6 Les défaillances par classe

Le tableau suivant illustre des différentes défaillances par classes :

Classe	$\Delta T(\text{h})$	Nombre de pannes
1	0 – 1700.22	0
2	1700.22 – 3400.44	0
3	3400.44 – 5100.66	1
4	5100.66 – 6800.88	2
5	6800.88 – 8501.1	8

Tableau .IV.2 Les défaillances par classe

IV.4.3.7 Histogramme de pannes

L'allure de l'histogramme de pannes figure VI.4 nous révèle déjà que la distribution

De pannes de turbine suit la loi de Weibull.

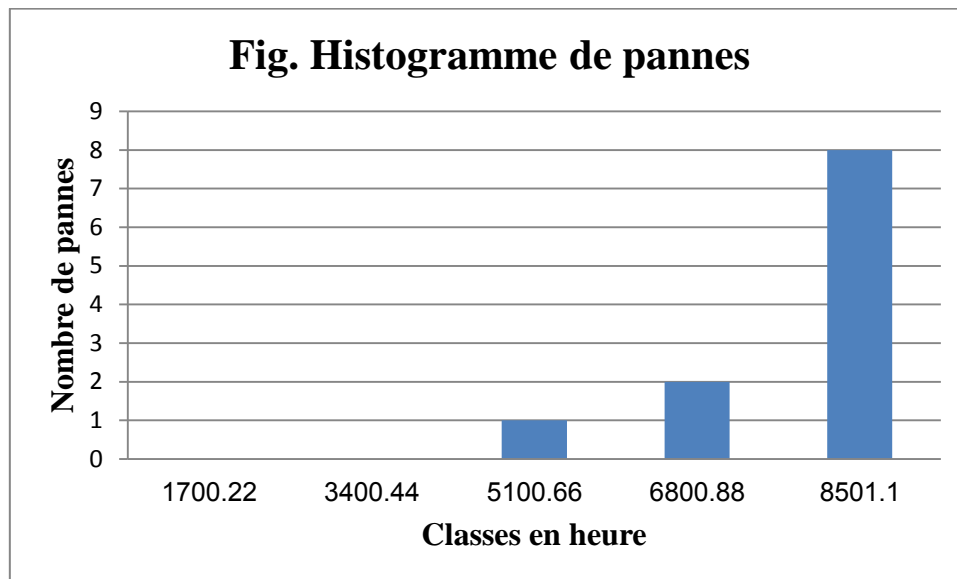


Fig IV.4 Histogramme de pannes

IV.4.3.8 Préparation des données

1. Recenser les TBF et les classer par ordre croissant en affectant un ordre $1 \leq i \leq N$ à chaque TBF.
2. Evaluer les fréquences cumulées $F(i)$, suivant les modèles d'approximation les plus adaptés, d'après :

- Si $N > 50$ $F(i) = \frac{i}{N}$ (IV. 12)

- Si $20 < N < 50$: $F(i) = \frac{i}{N+1}$ (IV. 13)

- Si $N < 20$: $F(i) = \frac{i - 0,3}{N + 0,4}$ (IV. 14)

Les données préparées (voir tableau) :

Ordre i	TBF_i (h)	F(i) (%)
1	3528	6
2	5860.87	15
3	6717.18	24
4	6827	32
5	6864.11	41
6	6891.7	50
7	7221.51	59
8	7997	67
9	8065	76
10	8464.94	85
11	8501.1	94

Tableau .IV.3 Les données préparées

IV.4.3.9 Exploitation des paramètres de Weibull

1. Recherche de la MTBF :

On utilise les tables donnant A et B (voir Annexe3) telles que d'après [7]:

$$- MTBF = A\eta + \gamma \quad (IV.16)$$

$$-L'écart type des temps de fonctionnement : $\sigma = B\eta$ \quad (IV.17)$$

Nous pouvons connaître la variance : $V = \sigma^2$ (IV. 18)

2. Tracés et applications numériques des lois de probabilité dont les équations sont définies par les trois paramètres de Weibull.

A chaque instant t , nous pouvons ainsi, graphiquement ou analytiquement, déterminer :

- La fonction de fiabilité d'après :

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (IV. 19)$$

- La fonction de répartition d'après :

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (IV. 20)$$

- La densité de défaillance :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (IV. 21)$$

- Le taux de défaillance instantané :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (IV. 22)$$

3. les relations réciproques, en particulier l'instant t , associé à un seuil de fiabilité :

$$t = \gamma + \eta \left[\text{Ln} \frac{1}{R(t)} \right]^{1/\beta} \quad (IV. 23)$$

4. La durée de vie nominale :

$$L_{10} = \gamma + \eta(0.105)^{1/\beta} \quad (IV. 24)$$

Le tableau suivant montre les résultats obtenus:

γ	0
η	7807.27
β	3.73
La fiabilité	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{7807.27}\right)^{3.73}}$
La fonction de répartition	$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{7807.27}\right)^{3.73}}$
La densité de défaillance	$f(t) = \frac{3.73}{7807.27} \left(\frac{t}{7807.27}\right)^{2.73} \cdot e^{-\left(\frac{t}{7807.27}\right)^{3.73}}$
Le taux de défaillance instantané	$\lambda(t) = \frac{3.73}{7807.27} \left(\frac{t}{7807.27}\right)^{2.73}$
A	0.90245
B	0.27164
σ	2120.76h
MTBF	7045.67h
L_{10}	3970.6h

Tableau .IV.4 Les résultats obtenus (logiciel loglaala)

<i>Ordre i</i>	<i>TBF</i>	<i>R(t_i)</i>	<i>F(t_i)</i>	<i>f(t_i)</i>	<i>λ(t_i)</i>
1	3528	0.9493	0.0507	0.000051	0.000054
2	5860.87	0.7077	0.2923	0.000014	0.000021
3	6717.18	0.5625	0.4375	0.000017	0.000031
4	6827	0.5438	0.4562	0.000017	0.000032
5	6864.11	0.5377	0.4623	0.000018	0.000033
6	6891.7	0.5317	0.4683	0.0000182	0.000034
7	7221.51	0.4746	0.5254	0.0000185	0.000038
8	7997	0.3340	0.666	0.0000167	0.000050
9	8065	0.3225	0.6775	0.0000168	0.000052
10	8464.94	0.2609	0.7391	0.0000151	0.000058
11	8501.1	0.2508	0.7492	0.0000148	0.000059

Tableau .IV.5 Les résultats de calcul de la fiabilité

La détermination de la fonction de fiabilité et La fonction de répartition et la densité de Défaillance et le taux de défaillance instantané illustrés dans le tableau (IV.5)

IV.5 Test de kolmogorov Smirnov

L'utilisation de ce test nous permet de comparer la distribution expérimentale avec la distribution théorique et donc de décider la validité de l'ajustement.

Les paramètres d'acceptation sont donnés par les valeurs $|F - F_{th}|$ et les valeurs de la table K.S.

La procédure du test est comme suit :

H : le modèle théorique ajuste le modèle expérimental.

n : la taille de l'échantillon.

α : le seuil choisi par le test.

Δ, α : déterminé à partir de la taille.

Si $|F - F_{th}| < \Delta, \alpha ; \forall i=1, \dots, n \Rightarrow H$ est accepté au seuil de α .

S'il existe i_0 tel que $|F_{i_0} - F_{thi_0}| \geq \Delta \Rightarrow H$ est rejeté au s

La différence entre $F(t_i)$ et $F_{th}(t_i)$ est déterminé dans le tableau :

N	$F(t_i)$	$F_{th}(t_i)$	$ F - F_{th}(t_i) $
1	0.0614	0.0507	0.0107
2	0.1491	0.2923	0.1432
3	0.2368	0.4375	0.2007
4	0.3245	0.4562	0.1317
5	0.4122	0.4623	0.0501
6	0.5	0.4683	0.0317
7	0.58779	0.5254	0.0624
8	0.6754	0.666	0.0094
9	0.7631	0.6775	0.0856
10	0.8508	0.7391	0.1117
11	0.9385	0.7492	0.1893

Tableau .IV.6 Les résultats des calcule de teste k.S

- D'après l'annexe 02 : $n = 11$ et $\alpha = 5\%$ $\Rightarrow \Delta = 0.391$

- D'après Tableau .VI.6 des résultats des calculs Max

$$|F - F_{th}| = 0.2007 < \Delta = 0.391$$

Donc on peut dire que R (t) est accepté au seuil de 5% avec t exprimé en heure

IV.6 La maintenabilité :

IV.6.1 Définitions (AFNOR X-06-010) :

Aptitude d'un dispositif à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il puisse accomplir une fonction requise lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions d'utilisation données avec des moyens prescrits.

IV.6.2 Définition 2 :

la maintenabilité c'est la probabilité de remettre un système en état de fonctionner, en un temps donné, dans des conditions données, en retrouvant la fiabilité initiale.

Indicateurs ou critères de maintenabilité M.T.T.R et μ

La maintenabilité s'exprime à l'aide du M.T.T.R (mean time to repair).

Pour un dispositif donné, le M.T.T.R représente la moyenne des temps de réparation.

$$MTTR = \frac{\text{Somme des temps de réparation}}{\text{Nombre de réparations}} = \text{temps moyen d'une réparation}$$

Représente le taux de réparation, si μ est constant au cours du temps, alors :

$$\mu = 1 / MTTR$$

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

IV.6.3 Calcul de la maintenabilité de la turbine MS5002D :

$$M.T.T.R = \sum TR / N = 18101.6 / 11 = 1645.6 \text{ h}$$

$$\mu = 1 / M.T.T.R = 1 / 1645.6 = 0.00061 \text{ intervention / h}$$

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} = 1 - e^{-0.00061 t}$$

IV.7 La Disponibilité :

IV.7.1 Définitions AFNOR X06-10:

Aptitude d'une entité à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions d'utilisation données dans un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs est assurée.

IV.7.2 Mesure de disponibilité :

IV.7.2.1 La disponibilité peut se mesurer :

- à un instant donné (disponibilité instantanée)
- Sur un intervalle de temps donné (disponibilité moyenne)

L'indisponibilité du dispositif est le contraire de la disponibilité, elle se définit par :

Indisponibilité = 1 – Disponibilité = 1 - D

a) Disponibilité moyenne :

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

$$D_o = \frac{\text{temps de disponibilité}}{\text{temps de disponibilité} + \text{temps d'indisponibilité}}$$

$$\text{Au } D_o = \frac{M.C.B.F}{M.C.B.F + T.C.I}$$

Avec : T.C.B.F = temps cumulé de bon fonctionnement

T.C.I = temps cumulé d'immobilisation

b) Disponibilité instantanée :

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

$$D(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t} \quad ; t \geq 0$$

$$\mu = 1 / \text{MTTR} = 1 / 1645.6 = 0.00061 \text{ intervention / h}$$

$$\lambda = 1 / \text{MTBF} = 1 / 6967.13 = 0.00014 \text{ défaillance / h}$$

$$D(t) = 0.00061 / 0.00014 + 0.00061 + 0.00014 / 0.00014 + 0.00061 e^{-(0.00014 + 0.00061)t}$$

$$D(t) = 0.813 + 0.186 e^{-(0.00075)t}$$

IV.8 résultat graphique

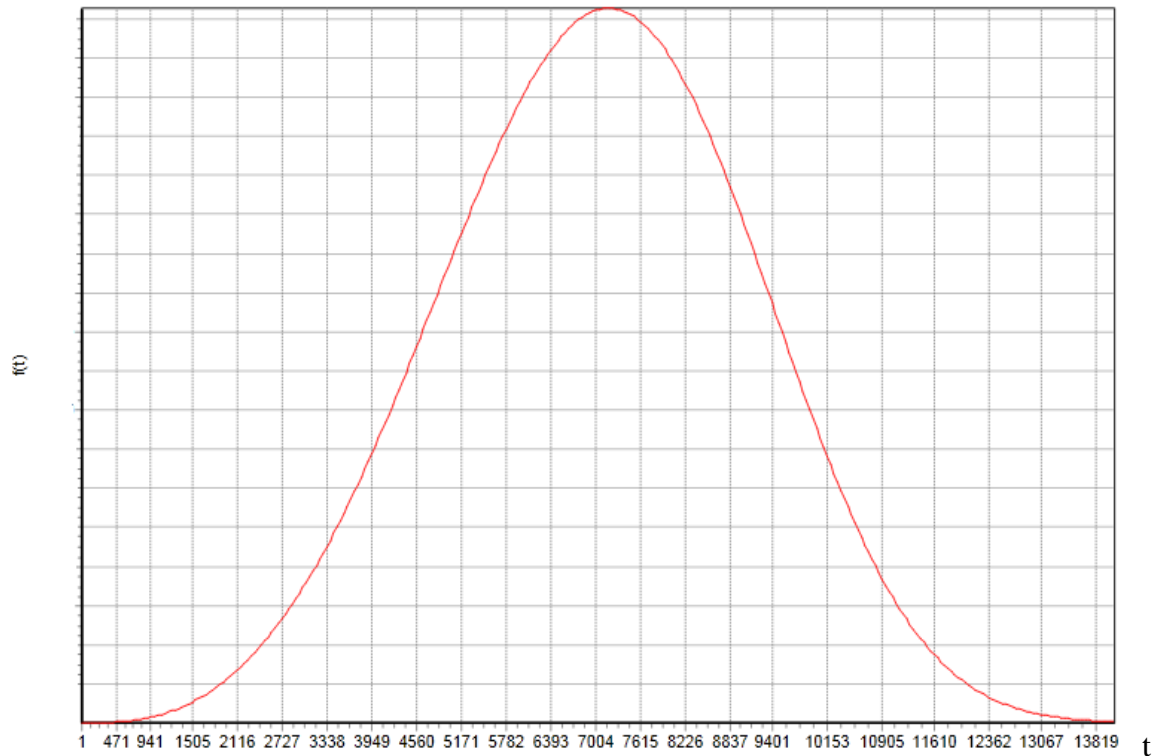


Fig. IV.5 Courbe de la densité de défaillance $f(t)$

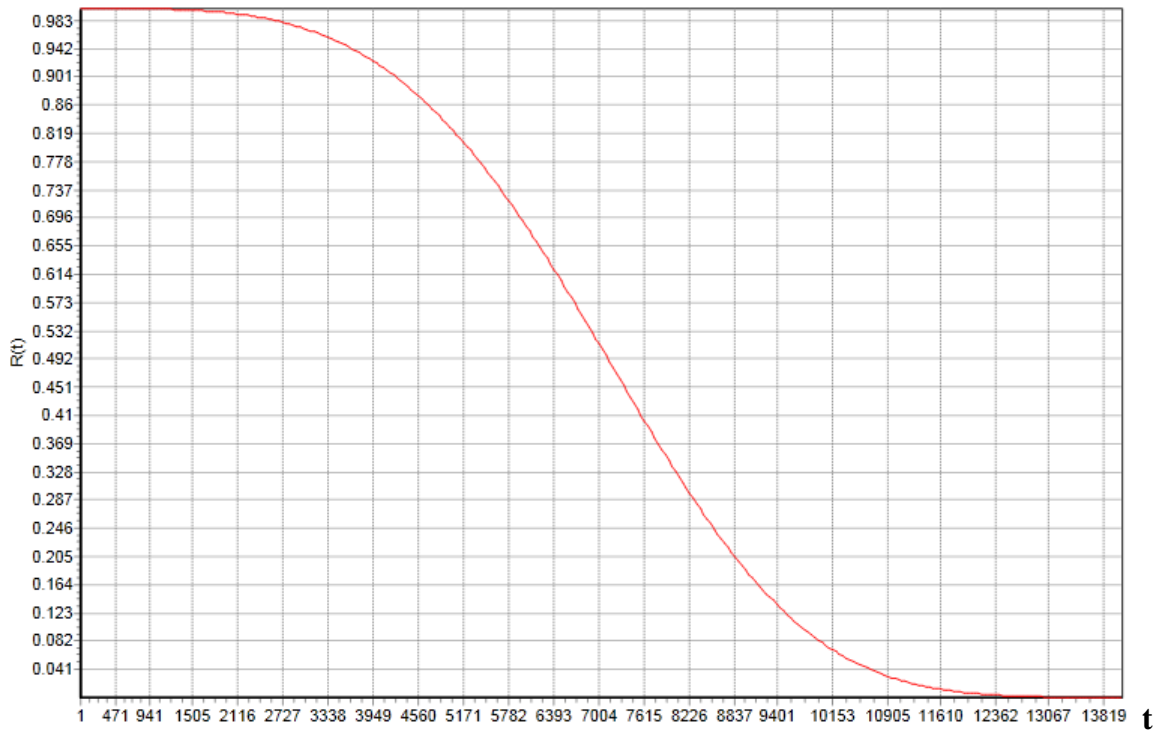


Fig .IV.6 Courbe de la fonction de fiabilité

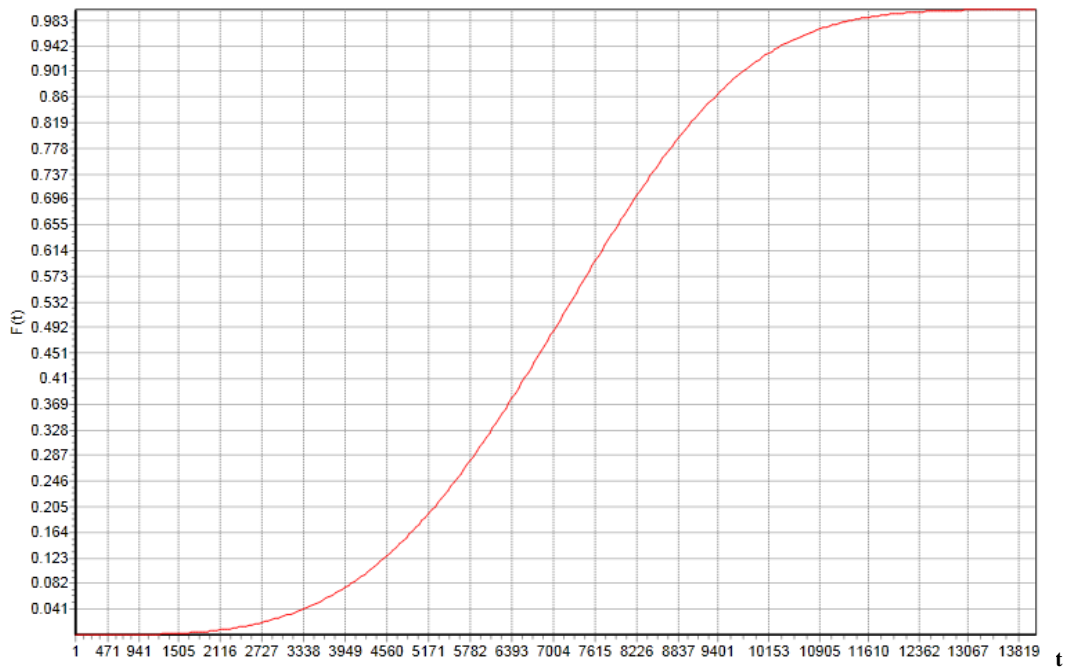


Fig IV.7 Courbe de la fonction de répartition $F(t)$

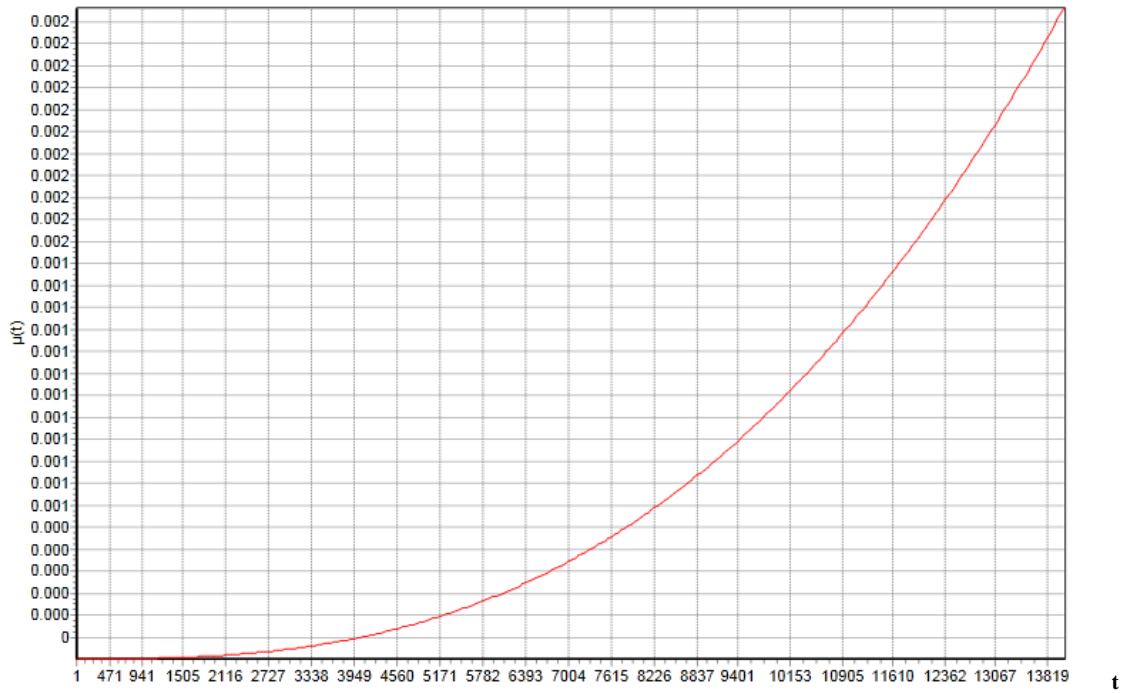


Fig. IV.8 Courbe de taux de défaillance $\lambda(t)$

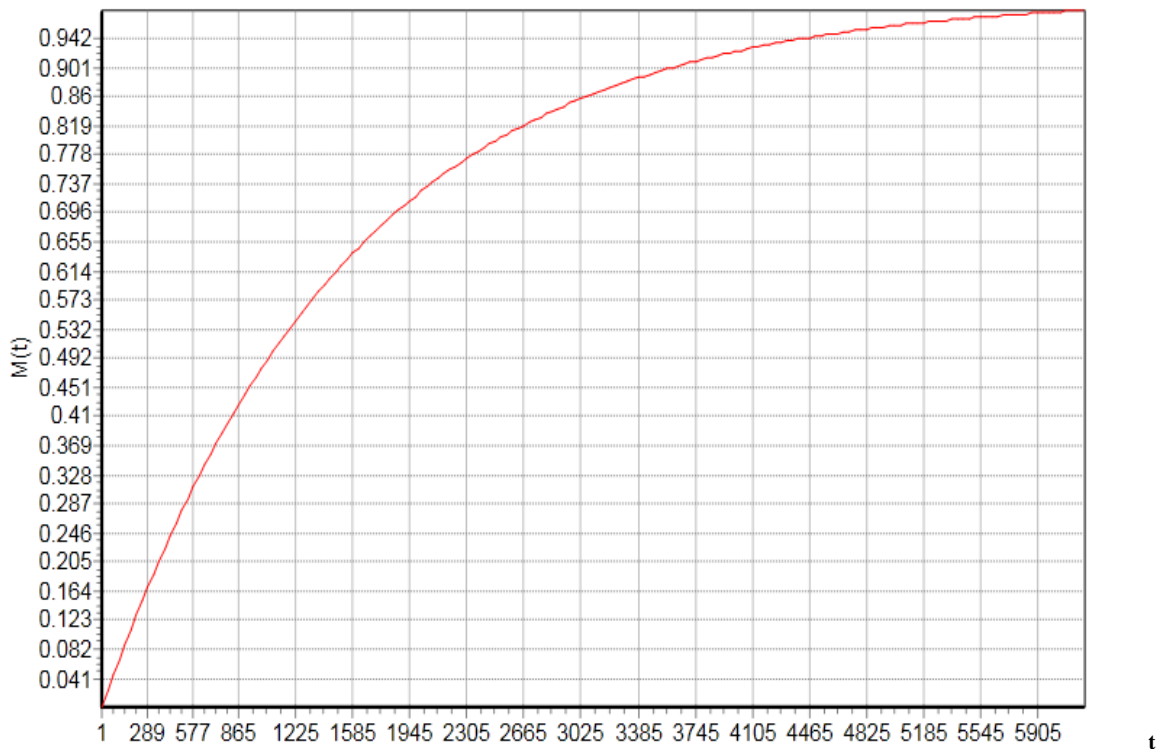


Fig. IV.9 courbe de maintenabilité $M(t)$

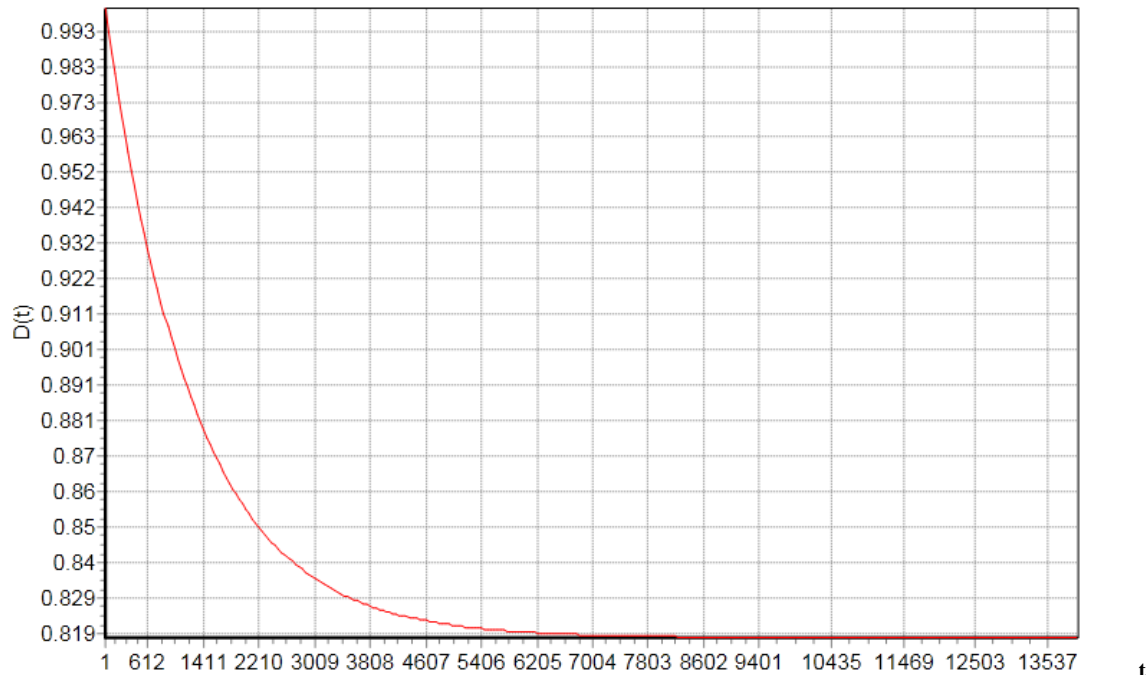


Fig .IV.10 Courbe La Disponibilité

IV.9 Interprétation graphique

IV.9.1 La densité de défaillance $f(t)$

L'intérêt de cette fonction est de voir l'allure de la distribution des défaillances enregistré et leur répartition autour de la MTBF. Pour notre cas d'application, la densité de probabilité augmente lorsque l'équipement ne dépasse pas le temps MTBF et se démunie lorsque elle dépasse le temps MTBF

IV.9.2 Interprétation de la Courbe de fonction de fiabilité $R(t)$

Nous avons vu que l'on peut associer à tout instant t une probabilité $R(t)$.

Il est souvent intéressant, à partir d'un niveau de fiabilité, de trouver l'instant t correspondant. En particulier, nous avons L_{10} (la durée de vie nominale), associée au seuil $R(L_{10}) = 0.944$ dans notre cas égale à 3970.6 (h) ; ce qui signifie que le temps systématique d'intervention pour garder une fiabilité de 94% est de $t=3970.6$ h.

IV.9.3 La fonction de répartition $F(t)$

La fonction de répartition est inversement proportionnelle à la fiabilité. D'après la courbe figure IV.7 on voit que la fonction de répartition s'élève avec le temps de bon fonctionnement ce qui veut dire qu'il est très probable d'avoir plusieurs avariés, si le temps d'utilisation augmente, puisque nous sommes dans la phase de vieillissement.

IV.9.4 Interprétation de la courbe du taux de défaillance $\lambda(t)$

Les résultats de l'expérience passive ont abouti à une courbe du taux de défaillance rapidement croissante. Ce qui signifie qu'un mode de défaillance prédominant a entraîné une dégradation accélérée. La connaissance du paramètre de forme β de la loi de Weibull nous permet de localiser notre équipement sur sa courbe en baignoire et d'orienter le diagnostic.

$3 < \beta < 4$: phase d'obsolescence où apparaissent des phénomènes d'usure rapide et de corrosion.

IV.9.5 Maintenabilité $M(t)$

On voit que la courbe de maintenabilité est une courbe croissante, qui est le complément

À l'unité de la probabilité pour que le système ne soit pas réparé sur l'intervalle $[0, t]$.

D'après la figure précédente on remarque que le système est maintenable à 65% à la ($T=1945$ heures) Puis elle devient de plus en plus grande pour atteindre 94% à la ($T=4465$ heures).

IV.9.6 Courbe de disponibilité $D(t)$

On voit que la courbe de disponibilité est une courbe descendante, et la disponibilité est le reflet de la fiabilité et de la maintenabilité, l'augmentation de cette caractéristique revient directement à augmenter ces deux paramètres et du moment de la TAG on doit agir toujours sur la Fiabilité.

IV.10 Conclusion

La fiabilité que nous devons appliquer à l'entretien des équipements pétroliers doit ouvrir de très larges horizons. Elle doit intégrer de mieux en mieux le rôle de l'entretien dans la gestion globale des équipements.

La fiabilité contribue à atteindre mathématiquement l'optimum dont l'approche est en fait, le gage le plus sérieux du succès et d'avenir.

Dans ce chapitre nous avons réalisé l'analyse de la fiabilité prévisionnelle de la turbine à partir d'un modèle de Weibull pour déchiffrer le MTBF, tel que cette étude permet d'être assurée

la politique de la maintenance pour obtenir un matériel maintenu, elle nous montre que la vie d'un équipement forme un tout du fabricant à l'utilisateur.

V La méthode AMDEC (FMEA : Failure Mode Effect Analysis)

V.1 Introduction

L'analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leur criticité (AMDEC) est une méthode d'analyse prévisionnelle de la fiabilité qui permet de recenser systématiquement la défaillance potentielle d'un dispositif.

V.2 Historique et définitions

C'est un outil d'analyse qui permet de construire la qualité des produits fabriqués ou des services rendus et favorise la maîtrise de la fiabilité en vue d'abaisser le coût global. Elle est régie par la norme AFNOR X 60-510.

Cette méthode conçue pour l'aéronautique américaine en 1960, est devenue aujourd'hui :

- Réglementaire dans les études de sûreté des industries « à risque » (aérospatial, nucléaire, chimie).
- Contractuelle (pour les fournisseurs automobiles par exemple).

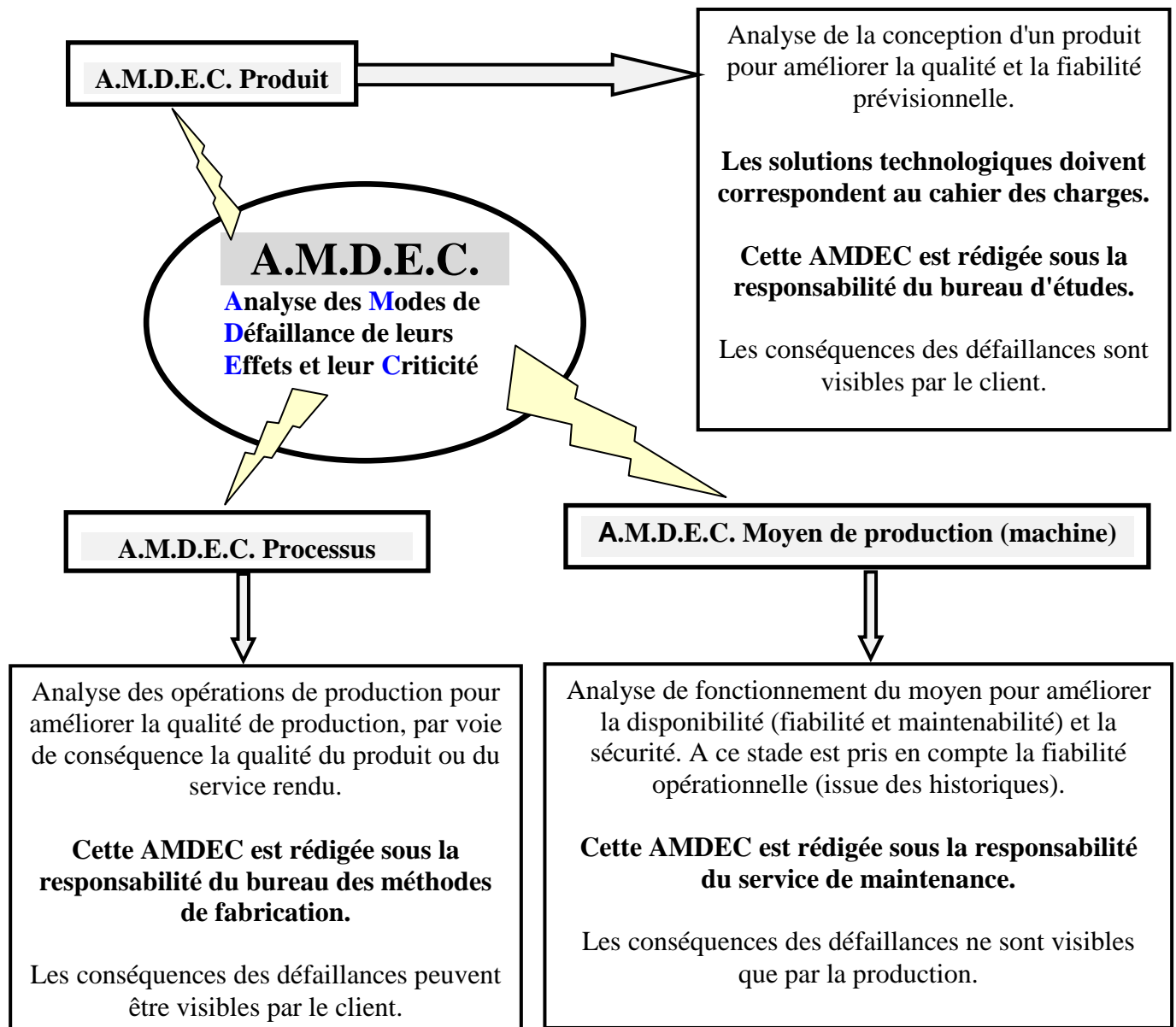


Fig .V.1 : Types de l'AMDEC. [14]

V.3 Principe de base

Il s'agit d'une analyse critique consistant à identifier de façon inductive et systématique les risques de dysfonctionnement des machines puis à en rechercher les origines et leurs conséquences. Elle permet de mettre en évidence les points critiques et de proposer des actions correctives adaptées. Ces actions peuvent concerner aussi bien la conception des machines étudiées que leur fabrication, leur utilisation ou leur maintenance. C'est essentiellement une méthode préventive.

L'AMDEC machine est essentiellement destinée à l'analyse des modes de défaillance d'éléments matériels (mécaniques, hydrauliques, pneumatiques, électriques; électroniques...).

Elle peut aussi s'appliquer aux fonctions de la machine, au stade préliminaire de sa conception.

V.4 Objectifs de l'AMDEC

L'AMDEC est une technique d'analyse prévisionnelle qui permet d'estimer les risques d'apparition de défaillance ainsi que les conséquences sur le bon fonctionnement du moyen de production, et d'engager les actions correctives nécessaires.

L'objectif principal est l'obtention d'une disponibilité maximale.

Les objectifs intermédiaires sont les suivants :

- Analyser les conséquences des défaillances,
- Identifier les modes de défaillances,
- Préciser pour chaque mode de défaillance les moyens et les procédures de détection,
- Déterminer l'importance ou la criticité de chaque mode de défaillance,
- Hiérarchisation des défaillances,
- Etablir des échelles de signification et de probabilité de défaillance.

V.5 Particularités de la méthode

a) Avantages

- Exhaustivité ;
- Traçabilité du raisonnement ;

b) Inconvénients

- Nécessité d'attendre que des documents existent ;
- Pas de prise en compte des combinaisons d'événements ou de pannes ;
- Nécessite une compétence technique du domaine concerné.

V.6 Démarche pratique de l'AMDEC machine

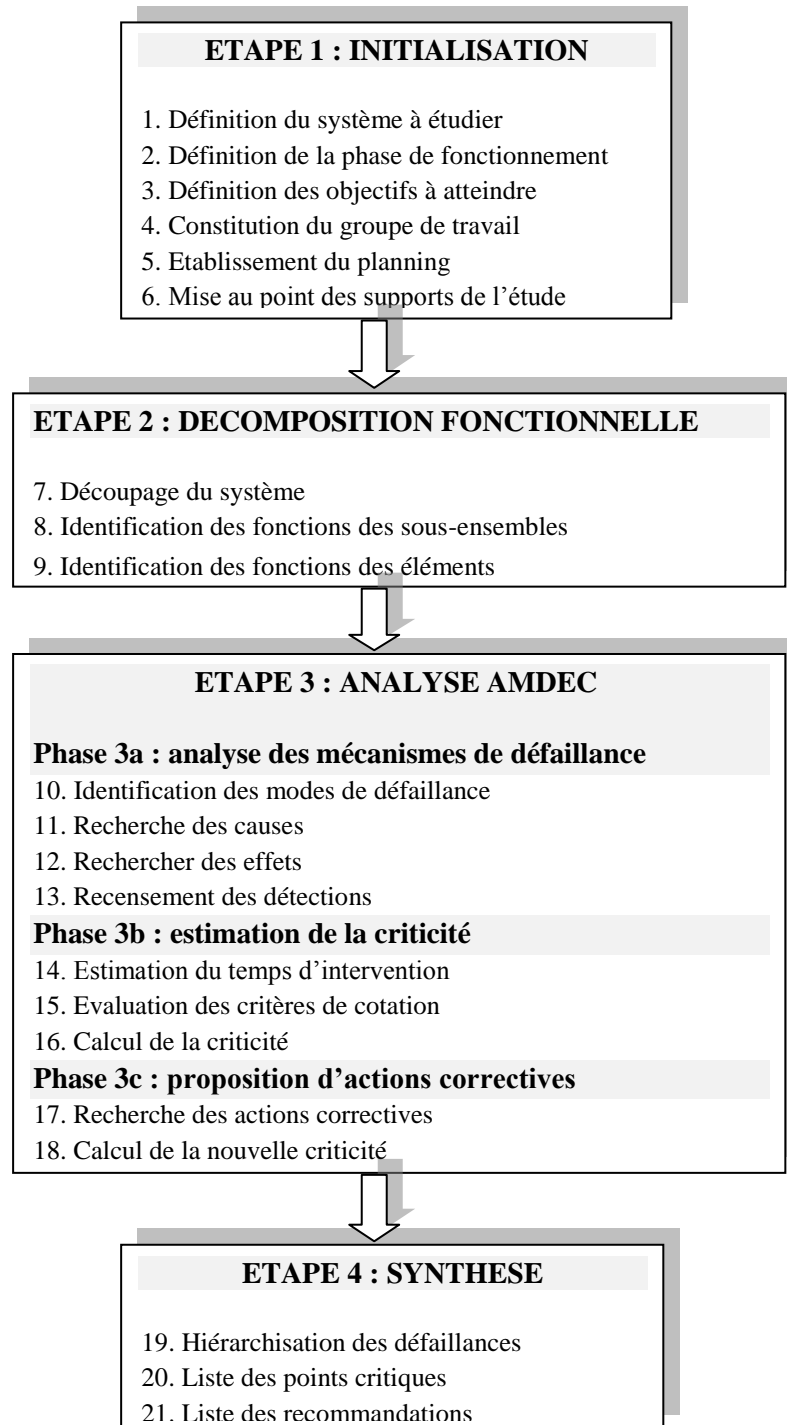


Fig .V.2 Démarche pratique de l'AMDEC machine. [14]

Une étude AMDEC comporte 4 étapes successives, soit un total de 21 opérations. La puissance d'une étude AMDEC réside autant dans son contenu que dans son exploitation. Une étude AMDEC resterait sans valeur si elle n'était pas suivie par la mise en place effective des actions correctives préconisées par le groupe, accompagnées d'un contrôle systématique.

L'étude peut être prolongée par des travaux complémentaires tels que les calculs de fiabilité et disponibilité, l'élaboration de plans de maintenance et des aides au diagnostic, etc.

Date de l'analyse:	AMDEC MACHINE – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ					Phase de fonctionnement :				page : 71 / 1
	Système :		Sous –Système :							Nom :
Élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité				Action Corrective
						F	G	N	C	

Tableau V.1 Exemples de feuille de travail de l'AMDEC. [15]

a) Les modes de défaillance

C'est la manière dont un système vient à ne pas fonctionner. Ils sont relatifs à la fonction de chaque élément. Une fonction a 4 façons de ne pas être correctement effectuée :

- **Plus de fonction** : la fonction cesse de se réaliser,
- **Pas de fonction** : la fonction ne se réalise pas lorsqu'on la sollicite,
- **Fonction dégradée** : la fonction ne se réalise pas parfaitement, altération de performances,
- **Fonction intempestive** : la fonction se réalise lorsqu'elle n'est pas sollicitée.

Modes de défaillances	Composants électriques et électromécaniques	Composants hydrauliques	Composants mécaniques
Plus de fonction	- composant défectueux	- composant défectueux - circuit coupé ou bouché	- rupture - blocage, grippage
Pas de fonction	- composant ne répondant pas à la sollicitation dont il est l'objet - connexions débranchées - fils desserrés	- connexions / raccords débranchés	
Fonction dégradée	- dérive des caractéristiques	- mauvaise étanchéité - usure	- désolidarisation - jeu
Fonction intempestive	- perturbations (parasites)	- perturbations (coups de bélier)	

Tableau .V.2 Exemples des modes de défaillances. [14]

b) Les causes de défaillance

Il existe 3 types de causes amenant le mode de défaillance :

- Causes internes au matériel,
- Causes externes dues à l'environnement, au milieu ou à l'exploitation,
- Causes externes dues à la main d'œuvre.

Causes de défaillance	Composants électriques et électromécaniques	Composants hydrauliques	Composants mécaniques
Causes internes matériel	- vieillissement - composant HS (mort subite)	- vieillissement - composant HS (mort subite) - colmatage - fuites	- contraintes mécaniques - fatigue mécanique - états de surface
Causes externes milieu exploitation	- pollution (poussière, huile, eau) - chocs - vibrations - échauffement local - parasites - perturbations électromagnétiques, etc.	- température ambiante - pollution (poussières, huile, eau) - vibrations - échauffement local - chocs, coups de bélier	- température ambiante - pollution (poussières, huile, eau) - vibrations - échauffement local - chocs
Causes externes Main d'œuvre	- montage - réglages - contrôle - mise en œuvre - utilisation - manque d'énergie	- montage - réglages - contrôle - mise en œuvre - utilisation - manque d'énergie	- conception - fabrication (pour les composants fabriqués) - montage - réglages - contrôle - mise en œuvre - utilisation

Tableau .V.3 Exemples des causes de défaillance. [14]

c) Effet de la défaillance

Conséquences de la défaillance sur :

- le fonctionnement et l'état matériel des biens,
- la disponibilité des biens,
- le coût direct et indirect de maintenance,
- la qualité du produit ou du service réalisé,
- la sécurité des exécutants de réalisation ou de maintenance,
- l'environnement.

d) Mode de détection

Une cause de défaillance étant supposée apparue, le mode de détection est la manière par laquelle un utilisateur (opérateur et/ou mainteneur) est susceptible de détecter sa présence

Avant que le mode de défaillance ne se produit complètement, c'est-à-dire bien avant que l'effet de la défaillance ne puisse se produire.

e) **Criticité des conséquences**

La criticité est en fait la gravité des conséquences de la défaillance, déterminée par calcul de la fréquence d'apparition de la défaillance (F), de la fréquence de non détection de la défaillance (N) et de la gravité des effets de la défaillance (G).

f) **La fréquence d'apparition de la défaillance** doit représenter la probabilité d'apparition du mode de défaillance résultant d'une cause donnée.

g) **La fréquence de non détection de la défaillance** doit représenter la probabilité de ne pas détecter la cause ou le mode de défaillance avant que l'effet survienne.

h) **La gravité des effets de la défaillance** représente la sévérité relative à l'effet de la défaillance.

Chaque critère comporte 4 niveaux notés de 1 à 4.

FREQUENCE : F	
1	1 défaillance maxi par an
2	1 défaillance maxi par trimestre
3	1 défaillance maxi par mois
4	1 défaillance maxi par semaine
GRAVITE: G	
1	Pas d'arrêt de la production
2	Arrêt <1 heure
3	1 heure < arrêt < 1 jour
4	Arrêt > 1 jour
NON DETECTION : N	
1	Visite par opérateur
2	Détection aisée par un agent de maintenance
3	Détection difficile
4	Indécelable

Tableau .V.4 Grille de cotation de fréquence, gravité et non détection. [14]

i) **L'évaluation de la criticité** est exprimée par l'Indice de Priorité des Risques (IPR), le calcul de la criticité se fait, pour chaque combinaison cause / mode / effet, à partir des niveaux atteint par les critères de cotation. La valeur de la criticité est calculée par le produit des niveaux atteints par les critères de cotation.

La valeur relative des criticités

$$C = F \times N \times G$$

des différentes défaillances

permet de planifier les recherches en commençant par celles qui ont la criticité la plus élevée.

NIVEAU DE CRITICITE	ACTIONS CORRECTIVES A ENGAGER
1 < C < 10 Criticité négligeable	Aucune modification de conception Maintenance corrective
10 < C < 20 Criticité moyenne	Amélioration des performances de l'élément Maintenance préventive systématique
20 < C < 40 Criticité élevée	Révision de la conception du sous-ensemble et du choix des éléments Surveillance particulière, maintenance préventive conditionnelle / prévisionnelle
40 < C < 64 Criticité interdite	Remise en cause complète de la conception

Tableau .V.5 Limites de criticité. [14]

La réduction de l'I.P.R. peut se faire par modification technique, par le changement de la méthode de maintenance appliquée et / ou par la mise en place de documents relatifs aux modes opératoires, aux procédures, etc.

Un plan d'action sera établi pour fixer des priorités par rapport aux améliorations proposées. Des critères économiques sont à prendre en compte pour hiérarchiser les modes des défaillances.

F. Action corrective

Moyen, dispositif ou procédure permettant de lutter contre le processus de défaillance d'un élément ou d'une tâche et de faire diminuer sa criticité.

➤ **Action de prévention**

Moyen, dispositif ou procédure mis en œuvre pour éviter (ou limiter) l'apparition des causes ou des défaillances. Une action de prévention permet d'améliorer la fiabilité du système ou de la tâche et de diminuer l'occurrence de défaillances.

➤ **Action de réduction des effets**

Moyen, dispositif ou procédure mis en œuvre pour supprimer ou réduire les effets de la défaillance sur le bien, la tâche ou l'utilisateur. Une action de réduction permet de diminuer la gravité de la défaillance.

➤ **Action de détection préventive**

Moyen, dispositif ou procédure de contrôle mis en œuvre pour détecter de manière précoce :

- j) une cause de défaillance,
- k) un symptôme de dégradation.

Une action de détection préventive permet de diminuer l'indice de non-détection et de déclencher les actions de prévention nécessaires.

V.7 Application de la méthode AMDEC

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

- Sous-système (SS1) : Moteur électrique ;
- Sous-système (SS2) : Compresseur axial ;
- Sous-système (SS3) : Section combustion ;
- Sous-système (SS4) : Section turbine ;

Chaque sous-système est décomposé jusqu'aux organes les plus élémentaires. L'application de la méthode AMDEC machine au système Turbocompresseur est présentée dans les tableaux suivants :

Date de l'analyse: 16/04/2012	AMDEC – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ					Phase de fonctionnement : Normale				Page : 1/6
	Système : Turbocompresseur		Sous-système 1: Moteur électrique			Criticité				Action Corrective
Élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	F	G	N	C	
Paliers roulement	Guider et supporter le rotor	- Usure - Cassure	- Fatigue - Vibration - Mauvais alignement	- Echauffement - Blocage de rotor	- Bruit - Echauffement	2	3	2	12	Changement des roulements
Stator	Créer un champ tournant	- Grillage d'enroulement - Défaillance de phase - Défaillance d'isolement	- Surcharge - Fatigue	Arrêt de compresseur axial	- Bruit - Visuel	1	3	3	9	Bobinage de l'enroulement
Rotor	Assurer le mouvement de rotation	Défaillance de la cage	- Surcharge - Fatigue	Arrêt de compresseur axial	- Bruit - Visuel	1	4	2	8	Changement de la cage

Tableau V.6 AMDEC, Sous-système1

Date de l'analyse: 16/04/2012	AMDEC – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ					Phase de fonctionnement : Normale				Page : 2/6
	Système : Turbocompresseur		Sous-système 2 : Compresseur axial.			Criticité				Action Corrective
Élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	F	G	N	C	
Rotor	Assurer le mouvement de rotation et comprimer l'air	- Usure - Rupture	- Fatigue - Mauvais graissage	Arrêt de compresseur	Mark V	1	4	1	4	- Vérifier le système de graissage - Vérifier le rotor
Aubes du rotor	Assurer la force nécessaire pour comprimer l'air	- Déformation - Corrosion - Erosion	-Mauvaise filtration d'air (entraînés des corps étrangers)	- Vibration - Détériorations des aubes	- Faible débit d'air - Mark V	1	3	2	6	- Redressement - Nettoyage ou changement de filtre - Changer les aubes
Stator	Former la structure externe principale et supporter le rotor à l'endroit des paliers	- Déformation - Usure	- Pompage de compresseur - Fatigue	Arrêt de compresseur	- Bruit - Mark V	1	4	2	8	- Redressement - Vérifier le stator
Aubes alternative	Fixer le stator, assurer la rotation de rotor à profil aérodynamique	- Corrosion - Erosion	Mauvaise filtration d'air	- Vibration - Détériorations des aubes	- Bruit - Mark V	1	3	2	6	- Redressement - Nettoyage ou changement de filtre - Changer les aubes
Aubes du stator	Guider l'air pour pénétrer dans les étages successif du compresseur axial	- Déformation - Corrosion - Erosion	Mauvaise filtration d'air	- Vibration - Détériorations des aubes	- Bruit - Mark V	1	3	2	6	- Redressement - Nettoyage ou changement de filtre - Changer les aubes
Corps d'admission	Diriger l'air de manière uniforme dans le compresseur	- Usure - Rupture	- Corrosion - Surcharge	Mauvaise filtration d'air	Faible débit d'air	1	3	1	3	- Nettoyage ou changement de filtre - Changer les Corps d'admission
Aubes variable (IGV)	Permettre à la turbine d'accélérer rapidement et en douceur, cela avec des débits d'air variables	- Corrosion - Erosion	- Mauvaise filtration d'air - Mauvais fonctionnement de système hydraulique	Pompage de compresseur	Mark V	1	3	2	6	- Nettoyage ou changement de filtre -Vérifier le système à l'huile hydraulique

Tableau V.7 AMDEC, Sous-système 2

Date de l'analyse: 16/04/2012	AMDEC – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ					Phase de fonctionnement : Normale				Page : 3/6
	Système : Turbocompresseur		Sous-système 2 : Compresseur axial							
Élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité				Action Corrective
						F	G	N	C	
Corps avant	Transférer les charges des dix premiers étages du stator du compresseur et fixation les aubes du stator	- Cassure - Fissure	- Fatigue - Mauvaise conception	Pompage de compresseur	Mark V	1	3	2	6	- Changement des corps avant - Nouvelle conception
Corps de refoulement	Equilibrer le pompage de compresseur, former les parois du diffuseur et relier le compresseur aux stators de la turbine de 1 ^{ère} étage (roue HP)	- Cassure - Fissure	- Fatigue - Mauvaise conception	Pompage de compresseur	Mark V	1	3	3	9	- Changement des corps de refoulement - Nouvelle conception
Cylindre externe	La continuation de corps du compresseur	Déformation	Pompage de compresseur	Mauvais fonctionnement	- Bruit - Mark V	1	3	2	6	Changer le cylindre
Cylindre intérieur	Entoure le rotor du compresseur	- Usure - Rupture	- Fatigue - Frottement	Vibration	- Bruit - Mark V	1	3	2	6	- Vérifier le système de graissage - Changer le cylindre
Clavettes	Faire passer l'air dans un seul sens	- Usure - Colmatage	- Fatigue - Mauvais fonctionnement de filtre	Diminution de pression	Faible débit d'air	1	2	1	2	- Changement de clavettes - Nettoyage ou changement de filtre
Les paliers No. 1 et 2	Soutienne le rotor du compresseur/turbine de haute pression et assurer le graissage	- Usure - Cassure	- Fatigue - Vibration - Mauvais alignement - Mauvais graissage	- Echauffement - Blocage de rotor HP	- Bruit - Mark V	1	4	2	8	- Vérifier le système de graissage - Changement des paliers

Tableau V.8 AMDEC, Sous-système 2

Date de l'analyse: 16/04/2012	AMDEC – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ					Phase de fonctionnement : Normale				Page : 4/6
	Système : Turbocompresseur		Sous-système 3 : Section combustion.			Criticité				Action Corrective
Élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	F	G	N	C	
Enveloppe de combustion	Renfermer les chambres de combustion + le pièce de transition et transférer l'air de refoulement	- Déformation - Usure	- Echauffement local - Fatigue	Mauvaise combustion	-Thermocouple - Mark V	1	4	2	8	- Redressement - Changer l'enveloppe de combustion
Chemise	Renfermer la chambre de combustion	- Gonflage - Distorsion	Aire brûlée ou surchauffée	Mauvais combustion	Faible débit au refoulement	2	4	1	8	Changer la chemise
Bougie d'allumage	Déclencher la combustion du mélange (fuel gaz +l'air de compresseur axial)	- Grippage - Eraillure	Echauffement local	Pas de combustion	Mark V	1	3	1	3	Nettoyage ou changement bougie d'allumage
Joint d'étanchéité	Assurer l'étanchéité	Usure	Fatigue	Echauffement	- Fuite de gaz - Mark V	2	3	2	12	Changement des joints
Détecteur de flamme	Envoyer l'indication de présence ou absence de flamme au système de commande	Défectueux	- Chocs - Vibrations - Echauffement local	La turbine ne démarre pas	Mark V	1	3	1	3	Changer le détecteur de flamme
Injecteurs de combustible	Emettre une quantité mesurée de fuel gaz dans la chemise de combustion	- Grippage - Usure	- Fatigue - Echauffement local	Mauvaise combustion	Fuite de gaz	1	3	2	6	- Traitement de la tige - Remplacement l'injecteur de combustible
Tubes à flamme	Relier les 12 chambres de combustion et permette la propagation de la flamme	- Flambage - Usure	- Echauffement - Corrosion - Fatigue	Mauvaise combustion	-Thermocouple - Mark V	2	3	2	12	Changer les tubes à flamme
Pièce de transition	Transformer les gaz chauds à la directrice de 1 ^{ère} étage (roue HP)	- Fissures - Gonflage	- Fatigue - Mauvaise Conception	- Echauffement local - Basse vitesse HP	-Thermocouple - Mark V	2	3	2	12	- Changement le pièce de transition - Nouvelle conception
Support de fixation	Fixation de tube à flamme	- Usure - Déformation	- Fatigue - Echauffement	Mauvaise combustion	Bruit	2	3	1	6	Changement le support de fixation

Tableau V.9 AMDEC, Sous-système 3

Date de l'analyse: 16/04/2012	AMDEC – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ					Phase de fonctionnement : Normale				Page : 5/6
	Système : Turbocompresseur		Sous-système 4 : Section turbine.							
Élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité				Action Corrective
						F	G	N	C	
Stator	Former la structure de la turbine à gaz	- Déformation - Usure	- Pompage de compresseur - Fatigue	Mauvais fonctionnement	- Bruit - Mark V	1	4	2	8	- Redressement - Vérifier le stator
Directrice du premier étage	Diriger les gaz chauds vers les aubes de la roue HP	- Usure - Colmatage - Fissure	- Fatigue - Mauvais fonctionnement de filtre	Basse vitesse de la roue HP	Mark V	1	4	3	12	- Nettoyage ou changement de filtre - Changer la directrice du premier étage
Directrice du deuxième étage	Diriger les gaz chauds vers les aubes de la roue BP	- Usure - Colmatage - Fissure	- Fatigue - Mauvais fonctionnement de filtre	Basse vitesse de la roue BP	Mark V	1	4	3	12	- Nettoyage ou changement de filtre - Changer la directrice du deuxième étage
Segments	Assemblé l'injecteur dans une bague de blocage	- Usure - Rupture	- Fatigue - Echauffement	Vibration	Mark V	1	4	3	12	Changement des segments
aubes tournantes (Nozzles)	Former tuyère à angle variable pour commander la vitesse de la roue BP	- Corrosion - Rupture	- Mauvaise filtration de gaz combustible - Echauffement	Mauvais fonctionnement de la roue BP	Mark V	1	4	3	12	- Nettoyage ou changement de filtre - Changer les aubes tournantes
Rotor de la turbine HP	Actionner le compresseur axial et assurer le mouvement de rotation	- Usure - Rupture	- Fatigue - Mauvais graissage	Arrêt de compresseur axial	Mark V	1	4	1	4	- Vérifier le système de graissage - Changer le rotor
Rotor de la turbine BP	Commande la charge (compresseur centrifuge) et assurer le mouvement de rotation	- Usure - Rupture	- Fatigue - Mauvais graissage	Arrêt de compresseur centrifuge	Mark V	1	4	1	4	- Vérifier le système de graissage - Changer le rotor
Les roues	Renfermer les aubes, assurer la rotation des rotors et assurer l'équilibrage des rotors	- Usure - Rupture	- Fatigue - Mauvaise refroidissement	Pompage de compresseur	- Bruit - Mark V	1	4	2	8	- Vérifier le système de refroidissement - Changer les roues

Tableau V.10 AMDEC, Sous-système 4

Date de l'analyse: 16/04/2012	AMDEC– ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ					Phase de fonctionnement : Normale				Page : 6/6
	Système : Turbocompresseur		Sous-système 4 :Section turbine.							
Élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité				Action Corrective
						F	G	N	C	
Les arbres	Former les rotors de turbine (rotor HP, rotor BP/charge) et assurer l'accouplement	- Érosion - Fissure - Jeux du bout	- Mauvais graissage - Mauvais alignement	- Pompage de compresseur - Mauvais fonctionnement	- Bruit - Mark V	1	4	2	8	- Vérifier le système de graissage et le système de refroidissement - Changer les arbres
Diaphragme	Séparer les deux étages de la turbine et former le couloir de passage de l'air de refroidissement les roues de la turbine	Déformation	- Fatigue - Mauvaise refroidissement	- Echauffement - Détériorations des roues	- Bruit - Mark V	1	4	2	8	- Vérifier le système de refroidissement - Redressement - Changer le diaphragme
Paliers No. 3 et 4	Soutiennent le rotor de basse pression/charge de turbine et assurer le graissage	- Usure - Cassure	- Fatigue - Vibration - Mauvais alignement	- Echauffement - Blocage de rotor BP	- Bruit - Mark V	1	4	2	8	-Vérifier le système de graissage - Changement des paliers
Goujons	Assurer la fixation	Desserrage	Chocs	Vibration	Bruit	3	3	1	9	Serrage

Tableau V.11 AMDEC, Sous-système 4

V.8 Interprétation des résultats de l'AMDEC

L'application de la méthode AMDEC, nous a permis de classer et d'hierarchiser les différents composants du turbocompresseur selon la criticité de leurs dysfonctionnements.

Composants	Criticité
Paliers, roulement, Joint d'étanchéité, Tube à flamme, Pièce de transition, Directrice du premier étage, directrice du deuxième étage, Segments, Aubes tournantes (Nozzles), Clapets d'aspiration et de refoulement, Paliers Accouplement grande vitesse.	12
Stator, Corps de refoulement, Goujons.	09
Rotor, Les paliers, Chemise, Enveloppe de combustion, Les roues (BP et HP), Les arbres, Diaphragme	08
Aubes du rotor, Aubes alternative, Aubes du stator, Aubes variable (IGV), Corps avant, Cylindre externe, Cylindre intérieur, Injecteurs de combustible, Support de fixation, Multiplicateur, Réducteur, Accouplement petite vitesse, Filtres d'air, Filtres de gaz	06
Rotor de la turbine HP, Rotor de la turbine BP, Roues de compresseur centrifuge	04
Corps d'admission, Détecteur de flamme, Diaphragme, Tambour d'équilibrage	03
Clavettes, Cylindre	02
Défecteur	01

Tableau V.12 Classement des différents composants selon la criticité

A partir de cette hiérarchisation, nous avons retenu les dysfonctionnements suivants :

- Usure, Rupture, Fissure,
- Déformation, Gonflage, Desserrage,
- Défaillance de système d'accouplement,
- Détérioration des dents.

Ces dysfonctionnements engendrent les impacts suivants :

- Vibrations,
- Echauffements,
- Phénomène de pompage,
- Mauvais fonctionnement de système,
- Dégradation du système.

V.9 Conclusion

La combinaison des méthodes dysfonctionnelles AMDEC a permis de déterminer les événements critiques pouvant conduire aux événements indésirables (incendie et explosion) ainsi que les événements vulnérables du système turbocompresseur. Avec une association à l'étude FMD nous peut choisir une maintenance préventive systématique pour les éléments (la chambre de combustion, Diaphragme, Les arbres, Les roues (BP et HP), ...) et une maintenance conditionnelle pour les organes (stator, Rotor, Paliers ...).

VI.1 Introduction :

Le secteur industriel en général et celui des hydrocarbures en particulier constitue incontestablement des secteurs à haut risque. La sécurité du personnel exploitant et des équipements de production est devenue l'une des préoccupations majeures des responsables industriels.

Nombreux sont les risques qui peuvent parvenir faute de négligence ou d'ignorance des règles et des mesures au sein de l'entreprise. C'est pourquoi, l'enseignement et la formation des hommes à la prévention des risques professionnels sont devenus une grande nécessité dans une entreprise.

VI.2 Définitions de la sécurité :

A) La sécurité industrielle est ensemble de mesures et des moyens techniques et d'hygiène dont la finalité est de créer des bonnes conditions en limitant l'influence des facteurs industriels dangereux provoquant des accidents.

Elle est étudiée des dangers industriels, les maladies professionnelles et les accidents professionnels et mettent en évidence des méthodes de réduction des accidents dont le but est d'augmenter la production et le rendement.

B) C'est la protection de l'être humain et du patrimoine national. Son action est assurée par un ensemble des moyens techniques aux quels vient s'ajouter un état d'esprit.

VI.3 La relation entre la maintenance et la sécurité:

La relation entre la maintenance et la sécurité est mutuelle car chacune complète l'autre au cours de leur déroulement.

Le point fort de cette relation est ce que les deux systèmes interviennent pendant la même période de fonctionnement des équipements. Seulement ils diffèrent de la façon d'intervenir. La maintenance agit du point de vue production c'est-à-dire pour assurer le bon fonctionnement des équipements, pour une production meilleure, par contre la sécurité agit du point de vue risque d'accidents, c'est-à-dire la sécurité de l'équipement et de la sécurité de l'équipement et du personnel exploitant.

VI.4 La sécurité au niveau de l'unité de traitement de gaz :

L'usine est dotée de deux bacs de stockage d'eau incendie, dont le volume est de 14714 m³, et d'un circuit d'eau incendie comprenant des bouches d'incendie, des dividoires de flexibles et des lancés-monitors placés dans les différentes zones de l'usine pour assurer une meilleure protection.

Des extincteurs à poudre et à CO₂ sont placés dans tous les endroits de complexe pour assurer une intervention rapide le temps d'arriver de l'équipe d'intervention.

VI.5 Mesure de sécurité :

- 1- L'usine est conçue de telle manière qu'en cas d'arrêt d'urgence l'alimentation vers l'usine est envoyée vers les torches, les produits sortants de l'usine (GPL et condensât) sont mis en off-spec. Ainsi que les compresseurs sont arrêtés et certains équipements sélectionnés sont dépressurisés.
- 2- Un système de détection de flamme ultraviolet est mis dans les aires des procédés, dans les aires de stockage des produits, au niveau de la rampe de chargement de camions citernes et dans les bâtiments des compresseurs de ré injection.
- 3- Un système de détection de gaz dangereux est prévu dans le bâtiment de compresseurs de ré injection.

Avant d'isoler les compresseurs de gaz au moyen de brides à lunettes, le gaz devrait être dégagé vers la torche et le reste est dégazé à l'aide de gaz inerte.

VI. 6 Les protections locales contre l'incendie :

VI.6.1 La turbine :

Chaque turbine est munie de sept bouteilles à CO₂ qui se déclenchent automatiquement ou manuellement.

On distingue deux types de décharges : Une rapide qui attaque directement l'incendie, et l'autre lente pour éviter la ré inflammation (40 minutes).

- Deux switchers se trouvent au niveau de la turbine, le premier pour couper l'alimentation de l'air. Et le deuxième pour donner une alerte pour l'évacuation des lieux, ils sont commandés par un système pneumatique (air instrument). Le détecteur utilisé est de type détecteur de température.

VI.6.2 La zone de stockage :

Les bacs. Les sphères et les cigares sont munis d'un système par arrosage pour éviter la propagation de feux en cas d'incendie d'un réservoir à un autre. Chaque réservoir est isolé dans une cuvette de rétention à l'aide des murs longs (tranches de terre).

VI.6.3 La salle de contrôle :

La sécurité au niveau de la salle de contrôle est réalisée par une décharge de hallon 1301, dont l'intérêt est de protéger les équipements électroniques car il est moins toxique, mais il

attaque la couche d'ozone.

Les bureaux sont munis de détecteurs de fumées, et l'intervention se fait à l'aide des extincteurs.

VI.6.4. Le laboratoire :

Il est aussi muni d'une décharge de hallon 1301, en plus le laboratoire est doté d'une douche de sécurité et d'une lave yeux.

VI.6.5 LA sous-station électrique :

Elle est protégée par des bouteilles de CO₂ au nombre de 120. On distingue deux décharges : Une est principale et l'autre secondaire.

Les sous-stations électriques ont un système qui permet aux opérateurs de quitter les lieux (25 secondes). On utilise des détecteurs de température.

VI.7 Les moyens qui assurent la sécurité

VI.7.1 Les moyens humains

La division sécurité de Rhourde –EL Baguel gère un effectif de 88 agents repartis à travers les structures ci après :

1. Service Prévention.
2. Service Intervention.
3. Cellule Protection de l'environnement

VI.7.2 Les moyens matériels

Le centre de traitement et recyclage de Rhourde – EL Baguel est protégé par un réseau anti-incendie composé de :

- ◆ Les moyens fixes.
- ◆ Les moyens mobiles.

VI.7. 2.1 Les moyens fixes :

VI.7. 2.1.1 Réseau eau anti-incendie :

Le réseau eau anti-incendie est une boucle maillée qui permet l'intervention rapide en cas de sinistre sur plusieurs points tout autour du réseau. Celui-ci est fourni à partir d'une installation d'alimentation constituée de :

- Quatre (04) pompes de 500 [m³/h] dont deux (02) entraînées par moteurs électriques et deux (02) entraînées par moteurs Diesels.

- Deux (02) pompes électriques de 50 [m³/h] destinées pour le maintien de pression du réseau à 6 bars.
- Un (01) bac d'eau d'une capacité 12400[m³/h].
- Poteaux incendie installés sur les principales routes assurant l'intervention rapide (Q =100mm)
- Lances monitors de diamètres (Q =70mm).
- Canons (eau / mousse) installés dans la zone de stockage.

VI.7.2.1. 2 Réseau d'extinction fixe :

- Système d'extinction à mousse : La mousse est utilisée pour éteindre le feu d'hydrocarbure dans la zone de stockage (unité 83). Tous les bacs sont équipés d'un système de lutte contre les incendies à mousse. Donc l'extinction des feux sur les bacs de stockage, exige l'utilisation de la mousse pour couvrir la surface d'hydrocarbure grâce à un dispositif d'injection de mousse qui se fait à travers les déversoirs à mousse et lance mousse installés dans les quatre (04) coins pour l'extinction de feu de la cuvette de rétention.
- Système d'extinction à CO2 automatique : Ce système est installé au niveau :
 1. des sous-stations électriques
 2. Unités compression et réinjection (pour la protection des turbines).
- Système d'extinction à poudre sèche automatique : Ce système est installé au niveau des compresseurs.
- Système à halon automatique : Ce système est installé au niveau de la salle de contrôle.

VI.7.2.1. 3 Moyens de détection :

Il existe deux types de détection à savoir :

- Détection portable (Explosimètre) : Celui-ci est destiné pour le contrôle du pourcentage de gaz au vapeur combustible dans l'air.
- Détection fixe : Celui-ci est défini par l'installation d'appareils sonores qui se déclenchent à chaque sensibilité due a l'existence de fumée ou d'élévation de température au niveau des sites et équipements résumés dans le tableau ci-après :

Tableau « 1 »

Zones	Types de détecteurs	Types d'extinctions
Salle de contrôle.	Fumée.	Halon 1301.
Laboratoire.	Température.	Halon 1301.
Compresseur.	Fumée.	A poudre.
S/station électrique.	Fumée.	A CO2.

Tableau.VI.1**VI.7.3 Différents moyens de communication:**

- Moyens de communication : Qui sont la radio et l'Interphone.
- Moyens d'alerte : Qui sont sirènes.

VI.7.3.1 Les moyens mobiles :**VI.7.3.1.1 Extincteurs :**

Le nombre des extincteurs existants au niveau de complexe en quatre catégories entre portatifs et extincteurs sur roues :

- Extincteurs portatifs à eau pulvérisation.
- Extincteurs sur roues à poudre sèche (50Kg).
- Extincteurs portatifs à poudre (9Kg).
- Extincteurs portatifs à CO2

VI.7.3.1.2 Equipements d'intervention mobile:

- Un camion anti - incendie comportent les agents d'extinction eau (9000l) émulseur (2500 l) et poudre (1000Kg).
- Deux camions anti - incendie comportent les agents d'extinction eau (900l) avec une pompe (300) m³/h.
- Une motopompe de (180) m³/h.

VI.8 CONCLUSION

Le rôle principal du service sécurité au sein des entreprises est de protéger les travailleurs et les biens contre le risque industriel et d'augmenter la durée de vie des matériels.

CONCLUSION GENERALE

Les TAG utilisés dans les grandes industries sont des systèmes stratégiques, onéreux et sont souvent sujets d'une multitude de risques dont l'incendie et l'explosion sont les plus redoutables. Dans le but de la maîtrise de ces derniers risques, nous avons mené une étude pour l'analyse de risque sur un TAG au sein de SONATRACH RHOURE EL BAGUEL.

Un groupe de spécialistes pluridisciplinaire (exploitation et maintenance mécanique, instrumentation et électricité) nous ont assistés pour l'application de toutes les méthodes d'analyse appliquées.

Après l'étude de programme de maintenance préventive on commence par le calcul des intervalles de maintenance selon le critère heures et selon le critère de démarrages, et a partir de la comparaison entre les résultats on a constaté que l'intervalle de maintenance basé sur les démarrages est plus sévère que celui basé sur les heures de service, a la fin de partie de la maintenance.

L'étude de fiabilité qui basée sur les données de retour d'expérience a permis de situer le bien dans sa courbe en baignoire, de déchiffrer sa durée de vie nominale et le MTBF, ainsi que d'évaluer sa fiabilité prévisionnel selon une modélisation de Weibull qui permet d'assurer la politique de la maintenance pour obtenir un matériel maintenu.

Nous avons dans un premier temps procédé à la description du fonctionnement du système et puis la combinaison des méthodes AMDEC.

Finalement, L'application de l'AMDEC, nous a permis de classer et d'hierarchiser les défaillances selon leur criticité nous avons pu déterminer toutes (explosion et incendie). En effet, dans l'application de cette méthode l'utilisation de logiciel nous a bien facilité la tâche.

Comme perspectives de ce travail ; la comparaison entre les paramètres de maintenance trouvés par les outils d'aide à la décision et le choix entre elles. Utilisation des réseaux de Petri pour améliorer la fiabilité,...

- [1] *Division Maintenance (Service planning et Méthodes)*
Dans la région de RHOURE EL BAGUEL .
- [2] «Manuel d'utilisation de la turbine à gaz MS 5002D».
Nuovo Pignone - Florence. Italie. 1999 .
- [3] Lucien Vivier «Turbine à vapeur et à gaz». Edition Albin Michel 1965.
- [4] Lamine KERROUME et Mounir KERCHOU « Calcule de performance de la
Turbine gaz 5002D ». MEMOIRE INGENIEUR D'ETAT - Université
d'Ouargla- 2008.
- [5] M. Reggio et J-Y. Trépaner « Théorie des turbomachines »
Ecole polytechnique Montréal.
- [6] « *Manuel de maintenance de la turbine à gaz MS 5002D*».
Nuovo Pignone –Florence - 1999.
- [7] François Monchy « Maintenance. Méthode et organisation » - Paris – 2003
- [8] «DESCRIPTION de la turbine à gaz MS 5002D ».
Centre de développement et d'application des techniques pétrolières et gazières
NAPHTOGAZ - HMD - 2001.
- [9] L.BENALI «Maintenance industrielle ». Office des publications universitaires
-2006.

- [10] Gilles zwingelstein « La maintenance basée sur la fiabilité » - Paris - 1996
- [11] CL.MARCOVICI, J-CL.LIGERON «Utilisation des techniques de fiabilité mécanique ».
- [12] J.CL LIGERON, P. LYONNET « La fiabilité en exploitation ». (Tome I)
- [13] Alain PAGES, Michel GONDRON « Fiabilité des systèmes »
- [14] Naftogaz ; « Formation HSE sur l'analyse de risque » ; (2008)
- [15] Norme AFNOR X 60-510.
- [16] Analyse des risques les turbocompresseurs université [EL HADJ LAKDARE BATNA]; (2010)

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE01:

Distribution de weibull valeur de coiffaient A et B en fonction du paramètre de forme

β	A	B	β	A	B	β	A	B	β	A	B
0,05	2,43290E+18	9,03280E+23	1,75	0,89062	0,52523	3,45	0,89907	0,28822	5,15	0,91974	0,20505
0,1	3,62880E+06	1,56977E+09	1,8	0,88929	0,51123	3,5	0,89975	0,28473	5,2	0,92025	0,20336
0,15	2,59357E+03	1,21993E+05	1,85	0,88821	0,49811	3,55	0,90043	0,28133	5,25	0,92075	0,20170
0,2	1,20000E+02	1,90116E+03	1,9	0,88736	0,48579	3,6	0,90111	0,27802	5,3	0,92125	0,20006
0,25	2,40000E+01	1,99359E+02	1,95	0,88671	0,47419	3,65	0,90178	0,27479	5,35	0,92175	0,19846
0,3	9,26053E+00	5,00780E+01	2	0,88623	0,46325	3,7	0,90245	0,27164	5,4	0,92224	0,19688
0,35	5,02914E+00	1,99761E+01	2,05	0,88589	0,45291	3,75	0,90312	0,26857	5,45	0,92272	0,19532
0,4	3,32335E+00	1,04382E+01	2,1	0,88569	0,44310	3,8	0,90379	0,26558	5,5	0,92320	0,19379
0,45	2,47859E+00	6,46009E+00	2,15	0,88561	0,43380	3,85	0,90445	0,26266	5,55	0,92368	0,19229
0,5	2,00000E+00	4,47214E+00	2,2	0,88562	0,42495	3,9	0,90510	0,25980	5,6	0,92414	0,19081
0,55	1,70243E+00	3,34530E+00	2,25	0,88573	0,41652	3,95	0,90576	0,25701	5,65	0,92461	0,18935
0,6	1,50458E+00	2,64514E+00	2,3	0,88591	0,40848	4	0,90640	0,25429	5,7	0,92507	0,18792
0,65	1,36627E+00	2,17887E+00	2,35	0,88617	0,40080	4,05	0,90704	0,25162	5,75	0,92552	0,18651
0,7	1,26582E+00	1,85117E+00	2,4	0,88648	0,39345	4,1	0,90768	0,24902	5,8	0,92597	0,18512
0,75	1,19064	1,61077	2,45	0,88685	0,38642	4,15	0,90831	0,24647	5,85	0,92641	0,18375
0,8	1,13300	1,42816	2,5	0,88726	0,37967	4,2	0,90894	0,24398	5,9	0,92685	0,18240
0,85	1,08796	1,28542	2,55	0,88772	0,37319	4,25	0,90956	0,24154	5,95	0,92729	0,18107
0,9	1,05218	1,17111	2,6	0,88821	0,36696	4,3	0,91017	0,23915	6	0,92772	0,17977
0,95	1,02341	1,07769	2,65	0,88873	0,36097	4,35	0,91078	0,23682	6,05	0,92815	0,17848
1	1,00000	1,00000	2,7	0,88928	0,35520	4,4	0,91138	0,23453	6,1	0,92857	0,17721
1,05	0,98079	0,93440	2,75	0,88986	0,34963	4,45	0,91198	0,23229	6,15	0,92898	0,17596
1,1	0,96491	0,87828	2,8	0,89045	0,34427	4,5	0,91257	0,23009	6,2	0,92940	0,17473
1,15	0,95170	0,82971	2,85	0,89106	0,33909	4,55	0,91316	0,22793	6,25	0,92980	0,17351
1,2	0,94066	0,78724	2,9	0,89169	0,33408	4,6	0,91374	0,22582	6,3	0,93021	0,17232
1,25	0,93138	0,74977	2,95	0,89233	0,32924	4,65	0,91431	0,22375	6,35	0,93061	0,17113
1,3	0,92358	0,71644	3	0,89298	0,32455	4,7	0,91488	0,22172	6,4	0,93100	0,16997
1,35	0,91699	0,68657	3,05	0,89364	0,32001	4,75	0,91544	0,21973	6,45	0,93139	0,16882
1,4	0,91142	0,65964	3,1	0,89431	0,31561	4,8	0,91600	0,21778	6,5	0,93178	0,16769
1,45	0,90672	0,63522	3,15	0,89498	0,31135	4,85	0,91655	0,21586	6,55	0,93216	0,16657
1,5	0,90275	0,61294	3,2	0,89565	0,30721	4,9	0,91710	0,21397	6,6	0,93254	0,16547
1,55	0,89939	0,59252	3,25	0,89633	0,30319	4,95	0,91764	0,21212	6,65	0,93292	0,16439
1,6	0,89657	0,57372	3,3	0,89702	0,29929	5	0,91817	0,21031	6,7	0,93329	0,16332
1,65	0,89421	0,55635	3,35	0,89770	0,29550	5,05	0,91870	0,20853	6,75	0,93366	0,16226
1,7	0,89224	0,54024	3,4	0,89838	0,29181	5,1	0,91922	0,20677	6,8	0,93402	0,16121

ANNEX02: Test de Kolmogorov Smirnov

N	Niveau Significatif α				
	0.20	0.15	0.10	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	0.780	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	0.610
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	0.258	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	0.300
30	0.190	0.200	0.220	0.240	0.290
35	0.180	0.190	0.210	0.230	0.270
>35	$\frac{1.07}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.14}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{N}}$

RESUME

La turbine à gaz est devenue de nos jours un élément principal dans toutes les installations de production d'énergie (centrale électriques par exemple), ainsi que dans le domaine de Transport et de la réinjection du gaz, ce qui donne à la turbine à gaz une importance dans L'économie nationale.

Pour cela, nous avons basés dans notre projet sur l'étude de performance du turbine à gaz dans les conditions standards et dans les conditions de fonctionnement dans le site, puis nous avons assurés le programme de maintenance prévisionnelle et l'organisation de gestion de stock selon les délais de livraisons.

Finalement, nous avons présentés l'étude de fiabilité de la turbine à gaz ainsi la probabilité que cette turbine accomplisse une fonction requise, pour obtenir le meilleur production.

Mots clés: turbine, performance, maintenance prévisionnelle, fiabilité
