



Université de Ghardaïa

N° d'ordre :
N° de série :

Faculté des Sciences et Technologies
Département d'automatique et électromécanique

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Domaine : *Sciences et Technologies*

Filière : *électromécanique*

Spécialité : *maintenance industriel*

Par : OUFRAANI Mohamed Anis
HAMADI Djamel Eddine

Thème

**Optimisation de la maintenance préventive d'une turbine à gaz
TURBOMACH T70 par les méthodes AMDEC et PARETO**

Soutenu publiquement le 29/09/2020

Devant le jury :

BEKKAR Belgacem	MCB	Univ.Ghardaïa	Président
AKERMI Faouzi	MAA	Univ.Ghardaïa	Examineur
BOUKHARI Hamed	MCB	Univ.Ghardaïa	Examineur
MOUATS Sofiane	MAA	Univ.Ghardaïa	Encadreur

Année universitaire 2019/2020

Remerciements

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

*Toutes nos infinies grâces à notre promoteur, Monsieur **MOUATS Sofiane** 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.

Nous tenons à remercier sincèrement corps professoral et administratif du département : Automatique et électromécanique pour la richesse et la qualité de leurs enseignements et qui déploient de grands efforts pour assurer à leurs étudiants une formation actualisée.

*Nos remerciements s'adressent aussi, à tous les travailleurs de la centrale d'el goléa S.K.T.M et l'ingénieur **Bousaid Moulay Suleiman**.*

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 grâces et respects.

HAMADI Djamal Eddine

OUFRANI Mohamed Anis

DÉDICACE

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

Je dédie cette travail à....

A ma Chère Mère FATIMA

Pour tous ses sacrifices, son amour, sa tendresse, son soutien et sa prière tout au long de mes études,

A mon Frères et mes sœurs

Pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral,

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

A mon binôme Mohamed Anis et tous mes amis

A tous ceux qui m'ont étudié et contribué à mon éducation.

HAMADI Djamel Eddine

DÉDICACE

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

Tout d'abord nous tenons à remercier le tout puissant de nous avoir donné le courage et la patience pour arriver à ce stade afin de réaliser ce travail qu'on dédie : A nos trop chers parents : ma mère et mon papa.

A nos chers frères et nos précieuses sœurs.

A toute la famille **OUFRANI, SUOFI et MIZATE**

A tous nos amis partout, et en particuliers et sans doute à Nos trop chers amis à l'Université de GHARDAIA.

Et à la fin on dédie très chaleureusement : Mr. **MOUATS Sofiane**

OUFRANI Mohmed Anis

Liste des Tableaux

Tableau II.1 : Mode, Cause, Effet, Détection.....	31
Tableau II.2 : L'échelle du critère Détection (D).....	32
Tableau II.3 : Première échelle du critère Fréquence (O).....	32
Tableau II.4 : Deuxième échelle du critère Fréquence (O).....	32
Tableau II.5 : L'échelle du critère Gravité (G).....	32
Tableau II.6 : Évaluation de la criticité.....	33
Tableau II.7 : Seuille de criticité.....	33
Tableau II.8 : Tableau de décision.....	34
Tableau II.9 : Action préventives.....	35
Tableau III.1 : Donnée technique de l'alternateur TURBOMACH T70.....	43
Tableau III.2: Le package turbine.....	45
Tableau III.3: Caractéristiques de la turbine à gaz Taurus 70.....	46
Tableau III.4: Les entretiens appliquée sur les turbines à gaz (Taurus 70).....	53
Tableau III.5: les niveaux d'interventions d'entretien.....	54
Tableau IV.1 : Historique des pannes de TURBOMACH T70.....	61
Tableau IV.2 : Résultats du calcul ABC.....	62
Tableau IV.3 : Analyse de Section combustion par la méthode AMDEC	66
Tableau IV.4 : Analyse de Section compresseur par la méthode AMDEC.....	67
Tableau IV.5 : Analyse de sous-système 3 par la méthode AMDEC.....	68
Tableau IV.6 : Analyse de sous-système 4 par la méthode AMDEC.....	69
Tableau IV.7 : Analyse de sous-système 5 par la méthode AMDEC	70
Tableau IV.8 : Analyse de sous-système 6 par la méthode AMDEC.....	71
Tableau IV.9: Evaluation de la criticité de sous-système 1.....	72
Tableau IV.10: Evaluation de la criticité de sous-système 2.....	73
Tableau IV.11: Evaluation de la criticité de sous-système 3.....	74
Tableau IV.12: Evaluation de la criticité de sous-système 4.....	74
Tableau IV.13: Evaluation de la criticité de sous-système 5.....	75
Tableau IV.14: Evaluation de la criticité de sous-système 6.....	76
Tableau IV.15: Interprétation des résultats de l'analyse AMDEC.....	77
Tableau IV.16 :Plan de maintenance préventive proposé.....	78

Liste des figures

Figure I.1 : Cartographie des sites de production	05
Figure I.2 : Organigramme de l'unité de production Sud Est	06
Figure I.3 : Image satellite de situation de la centrale d'el goléa	07
Figure I.4 : Organigramme de service el goléa	08
Figure II.1 : Types de maintenance.....	12
Figure II.2 : Fonction de fiabilité	17
Figure II.3 : Courbe en baignoire.....	18
Figure II.4 : Durées moyennes associées à la SdF.....	19
Figure II.5 : Organisation de la méthode AMDEC.....	25
Figure II.6 : Bloc fonctionnels d'une machine	27
Figure III.1 : Vue extérieure d'une turbine à gaz TURBOMACH T70	36
Figure III.2 : Schéma des éléments principaux d'une Turbine à gaz TURBOMACH T70...38	
Figure III.3 : Compresseur Axial : aubes du rotor et aubes du stator.....	39
Figure III.4 : Schéma de plaque signalétique de compresseur d'une turbine à gaz TURBOMACH T70.....	39
Figure III.5: schéma de la chambre de combustion.....	40
Figure III.6 : la turbine de puissance	41
Figure III.7 : schéma de Le réducteur	42
Figure III.8 : Vue extérieure de L'alternateur TURBOMACH T70.....	43
Figure III.9 : Le tableau distribution 400 VA.....	44
Figure III.10: L'armoire distribution 230 VAC et démarrage.....	44
Figure III.11 : L'armoire variateur de fréquence.....	45
Figure III.12 : Le tableau auxiliaire.....	45
Figure III.13: tableau de commande.....	45
Figure III.14 : L'armoire des batteries 24 VDC	45
Figure III.15 : Schéma de package turbine.....	46
Figure III.16 : Vue de coupe d'une turbine.....	47
Figure III.17 : Coupe longitudinale d'une turbine à gaz - Principaux organes.....	52
Figure IV.1 : Décomposition des systèmes de TURBOMACH T70.....	60
Figure IV.2 : Organigramme d'historique des pannes de TURBOMACH.....	61
Figure IV.3 : La courbe ABC.....	62

Figure IV.4: Décomposition fonctionnelle du système.....	64
Figure IV.5 : Décomposition structurelle.....	65

Abréviation	Signification
S.K.T.M :	Sharikat K ahraba T akat M outajadida
TAG :	Turbines à gaz
T 70 :	Turbine à gaz TURBOMACH T70 ou Taurus 70
TAC :	Turbines à combustion
GNL :	Gaz naturel liquéfier
SPE :	Société Algérienne de Production de l'Electricité
GRTE :	Société Algérienne de Gestion du Réseau de Transport de l'Electricité
GRTG. :	Société Algérienne de Gestion du Réseau de Transport du Gaz
SDA :	Société Algérienne de Distribution de l'Electricité et du Gaz d'Alger
SDC :	Société Algérienne de Distribution de l'Electricité et du Gaz du Centre
SDE :	Société Algérienne de Distribution de l'Electricité et du Gaz de l'Est
SDO :	Société Algérienne de Distribution de l'Electricité et du Gaz de l'Ouest
CPF :	Central processing and facility
AC :	Courant alternatif
DC :	Courant constant
SdF :	Surité de fonctionnement
SDC :	Salle de contrôle
CND :	Contrôle non destructif
IGV :	Inlet Guide Vane
AMDEC :	Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité
FEMA :	Failure modes and effects analysis

Résumé :

Le but de notre travail est d'étudier et de diagnostiquer l'état de fonctionnement des turbines à gaz TURBOMACH T70, installées dans la centrale de production d'électricité en ELGOLEA, cette étude est basée sur l'analyse de l'historique des pannes des turbines au cours des quatre dernières années en utilisant deux méthodes PARETO et AMDEC. Au final, nous avons trouvé le type de maintenance approprié pour augmenter la fiabilité et l'efficacité, et nous avons également proposé une optimisation dans le plan de maintenance préventive des turbines.

Mots clé : turbines à gaz, maintenance, la fiabilité, PARETO, AMDEC, optimisation.

ملخص :

الهدف من عملنا هذا هو دراسة وتشخيص حالة عمل التوربينات الغازية TURBOMACH T70 المثبتة في محطة توليد الكهرباء في المنيعه ، هذه الدراسة تستند إلى تحليل تاريخ الأعطاب للتوربينات على مدى السنوات الأربع الأخيرة باستخدام طريقتين PARETO و AMDEC. في النهاية ، توصلنا الى النوع الصحيح من الصيانة لزيادة الموثوقية والكفاءة وايضا إقترحنا تحسين في مخطط الصيانة الوقائية للتوربينات.

الكلمات المفتاحية : التوربينات الغازية، الصيانة، الموثوقية، PARETO، AMDEC، تحسين.

Abstract:

The objective of our work is to study and diagnose the operating state of the gas turbines TURBOMACH T70, installed in the electricity production establishment in ELGOLEA, this study is based on the analysis of the failure history turbines over the past four years using two methods PARETO and FMEA. In the end, we found the right type of maintenance to increase reliability and efficiency, and we also proposed an optimization in the preventive maintenance plan for the turbines.

Key words: gas turbines, maintenance, reliability, PARETO, FMEA, optimization.

SOMMAIRE

Liste des Tableaux	I
Liste des figures	II
Liste des abréviations	IV
Résumés	V
Sommaire	VI
Introduction générale	01

Chapitre I : Présentation de l'entreprise et leur domaine d'activité

I.1 Introduction	03
I.2 Généralité	04
I.2.1 Qui est SKTM d'aujourd'hui ?	04
I.2.2 Pourquoi SKTM est créée ?	04
I.2.3 Cartographie des sites de production	05
I.2.4 Programme de production par S.K.T.M.	05
I.2.5 Situation géographique	06
I.2.6 Historique de la centrale d'el meniaa ou (el goléa)	07
I.2.7 Organigramme de service el goléa	08
I.2.8 Fonctionnement de la centrale	08
I.3 Conclusion	09

Chapitre II : La maintenance et leur méthodes utilisé (ABC / AMDEC)

II.1 Introduction	11
II.2 Définition de la maintenance	11
II.3 Type de maintenance	11
II.4 Maintenance préventive	12
II.4.1 Définition	12
II.4.2 Maintenance Systématique	12
II.4.3 Maintenance Conditionnelle	13

II.4.3 Maintenance Conditionnelle	13
II.4.4 But de la maintenance préventive.....	13
II.5 Objective de la maintenance	13
II.6 Fiabilité	14
II.6.1 Historique de la fiabilité	14
II.6.2 Définition de la fiabilité	15
II.6.3 Différents types de fiabilité	15
II.6.3.1 Fiabilité opérationnelle	15
II.6.3.2 Fiabilité prévisionnelle	16
II.6.3.3 Fiabilité extrapolée	16
II.6.3.4 Fiabilité intrinsèque	16
II.6.4 Indicateurs de fiabilité	16
II.6.4.1 Fonction de fiabilité	16
II.6.4.2 Taux de défaillance	17
II.6.4.3 Métriques de Sureté de Fonctionnement ‘SdF’	18
II.7 Analyse de la fiabilité à partir de la méthode ABC – loi de PARETO	19
II.7.1 Définition	17
II.7.2 But de la méthode ABC	20
II.7.3 Présentation de la loi PARETO	20
II.8 Analyse de la fiabilité à partir de la méthode AMDEC	21
II.8.1 Historique	21
II.8.2 Définition	21
II.8.3 Objectifs de l’AMDEC	22
II.8.4 Types de l’AMDEC	22
II.8.4.1 AMDEC-Produit	22
II.8.4.2 AMDEC-Moyen de production	22
II.8.4.3 AMDEC-Procédé	23
II.8.4.4 AMDEC-machine	23
II.8.4.5 AMDEC-sécurité	23
II.8.4.6 AMDEC-Maintenance (on exploitation)	23
II.8.4.7 AMDEC-Organisation	23
II.8.4.8 AMDEC-Service.....	23
II.8.5 AMDEC Machine.....	23

II.8.5.1 Intérêts	24
II.8.5.2 Cas d'application	24
II.8.6 Démarche pratique	24
II.8.6.1 Étape 1 de la méthode AMDEC : La définition du problème.....	25
II.8.6.2 Étape 2 : Décomposition fonctionnelle	26
II.8.6.3 Étape 3 : Etude qualitative	28
II.8.6.4 Étape 4 : Etude quantitative	31
II.8.6.5 Étape 5 : Hiérarchisation	33
II.8.6.6 Étape 6 : Recherche des actions préventives	33
II.8.6.7 Étape 7 : Suivi des actions et réévaluation de la criticité.....	35
II.8.7 Avantages et Inconvénients de la méthode AMDEC.....	35
II.8.7.1 Avantages de la méthode AMDEC	35
II.8.7.2 Inconvénients de la méthode AMDEC	35
II.9 Conclusion	35

Chapitre III : Etude descriptive de turbine à gaz TURBOMACH T70 :

III .1 Introduction	36
III .2 Définition de la turbine à gaz	36
III.3 Pourquoi on utilise les turbines à gaz ?	37
III.4 Historique de la turbine à gaz.....	37
III.5 Les éléments principaux de turbine à gaz TURBOMACH T70.....	37
III.5.1 Turbine.....	38
III.5.1.1 Compresseur	38
III.5.1.2 Chambre de combustion	40
III.5.1.3 Turbine de puissance	40
III.5.2 Réducteur.....	41
III.5.3 Alternateur	42
III.5.4 Système de contrôle-commande	43
III.6 Package turbine.....	45
III.7 Caractéristiques de la turbine à gaz Taurus 70.....	46
III.8 Différents circuits de la turbine	47
III.9 Séquences	49
III.9.1 Différent états du système	49

III.9.2 Différent arrêts du système	50
III.9.3 Alarmes	50
III.10 Principe de fonctionnement de la turbine à gaz Taurus 70	51
III.11 Maintenance appliquée sur les turbines à gaz Taurus 70	52
III.11.1 Expliquer les niveaux d'interventions d'entretien.....	54
III.11.2 Description des interventions d'entretien	54
III.11.2.1 Visite d'entretien opérationnel (niveau I)	54
III.11.2.2 Visite d'entretien intermédiaire (niveau A).....	55
III.11.2.3 Visite d'entretien principal (niveau B)	57
III.11.2.4 Révision (niveau IV)	58
II.12 Conclusion	59

Chapitre IV : Etude et application de la méthodes ABC et AMDEC sur la turbine TURBOMACH T70 :

IV.1 Introduction.....	60
IV.2 Historiques des pannes de la turbine à gaz TURBOMACH T70	60
IV.3 Application pratique de la méthode ABC.....	61
IV.3.1 Diagramme PARETO	61
IV.3.2 Interprétation des résultats et action d'amélioration	62
IV.4 Application de la démarche AMDEC	63
IV.4.1 Décomposition fonctionnellement le système	63
IV.4.2 Décomposition structurelle	64
IV.5 Analyse du système	72
IV.5.1 Analyse de sous-système 1	72
IV.5.2 Analyse de sous-système 2.....	73
IV.5.3 Analyse de Sous-systèmes 3.....	74
IV.5.4 Analyse de Sous-systèmes 4.....	74
IV.5.5 Analyse de Sous-systèmes 5.....	75
IV.5.6 Analyse de Sous-systèmes 6.....	76
IV.6 Interprétation des résultats de l'analyse AMDEC.....	78
V.7 Recommandations.....	79
IV.8 Conclusion.....	80
Conclusion générale.....	81

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale :

Le monde de l'industrie et de la production d'électricité dispose de machines et d'installations de plus en plus performantes et complexes, en particulier les turbines à gaz. Elles ont connu ces dernières années un développement considérable dans de nombreuses applications industrielles, et en particulier dans le domaine de la Production d'électricité, notamment en Algérie.

L'évolution de la turbine à gaz et son succès ont été conditionnés par l'amélioration de ces performances techniques. Les exigences de haute sécurité, la réduction des coûts d'exploitation, la maîtrise de la disponibilité des équipements et l'amélioration de leur fiabilité donnent à la maintenance des systèmes un rôle prépondérant. Elle doit permettre de n'intervenir qu'en présence d'éléments défectueux, de minimiser le temps de réparation, et de fournir un diagnostic fiable et facilement interprétable malgré la complexité des équipements. Cela implique la mise en place impérieuse d'une maintenance préventive qui est l'une des méthodes actuelles les plus utilisées dans l'industrie. Cette dernière est devenue un vrai métier avec ses propres concepts et méthodologie. Parmi les facteurs qui ont favorisé ce type de maintenance, nous pouvons citer l'automatisation, le diagnostic et la surveillance industrielle. La turbine à gaz (TAG), comme toute autre grosse machine tournante, demande un programme d'examen planifiés, avec réparation et remplacement des pièces pour obtenir le maximum de disponibilité et de fiabilité.

Pour cela on a essayé dans ce mémoire à base des données et informations récupérées de la direction régionale de centre de production d'électricité el goléa (S.K.T.M) ; ou on a fait notre stage pratique, de faire une étude de la maintenance appliquée sur la TAURUS 70 installé au sein de ce centre et Étude et Applications de la méthode ABC et AMDEC sur la turbine à gaz ainsi que le Principe de fonctionnement de la turbine à gaz.

Le mémoire est composé en deux parties :

La première partie théorique contient trois chapitres :

- Chapitre I : Présentation de. Centre de production (el goléa).
- Chapitre II : Généralité sur la maintenance, définition de L'AMDEC et ABC.
- Chapitre III : Etude et Description de la turbine TAGTURBOMACH T70.

INTRODUCTION GENERALE

La deuxième partie est expérimentale :

- Chapitre IV : Étude et Applications de méthode ABC et AMDEC sur la turbine TURBOMACH T70.

CHAPITRE I

I.1 Introduction :

La vie moderne est basée sur plusieurs structures d'existence obligatoire telle que l'urbanisme, l'industrie, l'agriculture, l'administration et autres mais tous sont alimentés par l'énergie électrique.

La Société Algérienne de Production de l'Electricité nommée par SKTM (Shariket kahraba wataket moutadjadida) contribue avec son activité à l'alimentation de la localité. Au début du 20^e siècle, 16 sociétés se partageaient les concessions électriques en Algérie, le groupe Lebon (Compagnie Centrale d'éclairage par le Gaz) et la Société algérienne d'éclairage et de force (SAEF) au centre et à l'ouest, la Compagnie Du Bourbonnais à l'est ainsi que les usines Lévy à Constantine.

Par décret du 16 août 1947, ces 16 compagnies concessionnaires sont transférées à EGA. Elles détenaient alors 90% des propriétés industrielles électriques et gazières du pays.

En 1969 la création de société SONELGAZ, c'est l'ordonnance N°69-59 du 28 juillet 1969 qui dissout l'établissement public d'Electricité et Gaz d'Algérie (EGA), issu des lois françaises de nationalisation de 1947, et promulgue les statuts de la Société Nationale de l'Electricité et du Gaz (Sonel gaz).

Ensuite Sonelgaz était déjà une entreprise de taille importante dont le personnel est de quelque 6000 agents. Elle desservait 700 000 clients.

Dès sa mise en place, l'entreprise a effectué, outre la vente d'énergie, l'installation et l'entretien d'appareils domestiques fonctionnant à l'électricité ou au gaz. Elle s'est attachée à promouvoir l'utilisation du gaz naturel et de l'électricité dans les secteurs industriel, artisanal et domestique.

D'abord en 1983 la première restructuration, la naissance des filiales travaux

Sonelgaz s'est restructurée une première fois et a donné naissance à cinq (05) entreprises spécialisées ainsi qu'une entreprise de fabrication :

- KAHRIF pour l'électrification rural.
- KAHRAKIB pour les infrastructures et installations électriques.
- KANAGHAZ pour la réalisation des réseaux gaz.

CHAPITRE I

- INERGA pour la Génie Civil.
- ETTERKIB pour le montage industriel.
- AMC pour la fabrication des compteurs et appareils de mesure et de contrôle.

C'est grâce à ces sociétés que Sonelgaz dispose actuellement d'infrastructures électriques et gazières répondant aux besoins du développement économique et social du pays.

I.2 Généralité :

I.2.1 Qui est SKTM d'aujourd'hui ?

S: Sharikat

K: Kahraba

T: Takat

M: Moutajadida

Shariket Kahraba wa Taket Moutadjadida, SKTM. Spe, est une société de production d'électricité, dont le capital est souscrit entièrement par la holding Sonelgaz. Créée le 07 avril 2013, par scission de la société SPE. Spe son siège social est basé à Ghardaïa.

La société est née dans un contexte de prise de conscience généralisée des incertitudes énergétiques et de la nécessité de lutter contre le réchauffement climatique, un recours massif à l'énergie solaire sous toutes ses formes, directes (photovoltaïque, thermique) ou indirectes (éolien, biomasse) doit s'imposer comme une priorité, une évidence.

En plus des enjeux liés au réchauffement climatique, l'épuisement des ressources énergétiques traditionnelles, le pétrole, le gaz naturel entre autres, le recours aux énergies propres, n'est plus une question de choix mais beaucoup plus une question de devenir des nations. D'autant plus que l'Algérie jouie d'un potentiel solaire des plus importants de par le monde, et d'un potentiel éolien également non négligeable, ajoutés à l'étendue de son territoire, lui permettant d'implanter les ouvrages de production d'électricité par les procédés renouvelables sans encombre [01].

CHAPITRE

I :

**Présentation de l'entreprise
et leur domaine d'activité**

CHAPITRE I

I.2.2 Pourquoi SKTM est créée ?

SKTM a été créée pour répondre à des enjeux stratégiques de l'heure. Il s'agit :

- Des spécificités qui caractérisent la gestion du parc de production Diesel des RIS (Réseaux Isolés du Sud).
- De satisfaire aux meilleures conditions de continuité et de qualité de service fourni aux populations des régions du sud du pays.
- De la volonté de concrétiser l'ambitieux programme national de développement des Energies Renouvelables, en mettant en valeur les potentialités énormes dont dispose notre pays, notamment l'étendue de son territoire et la durée d'ensoleillement [01].

I.2.3 Cartographie des sites de production :

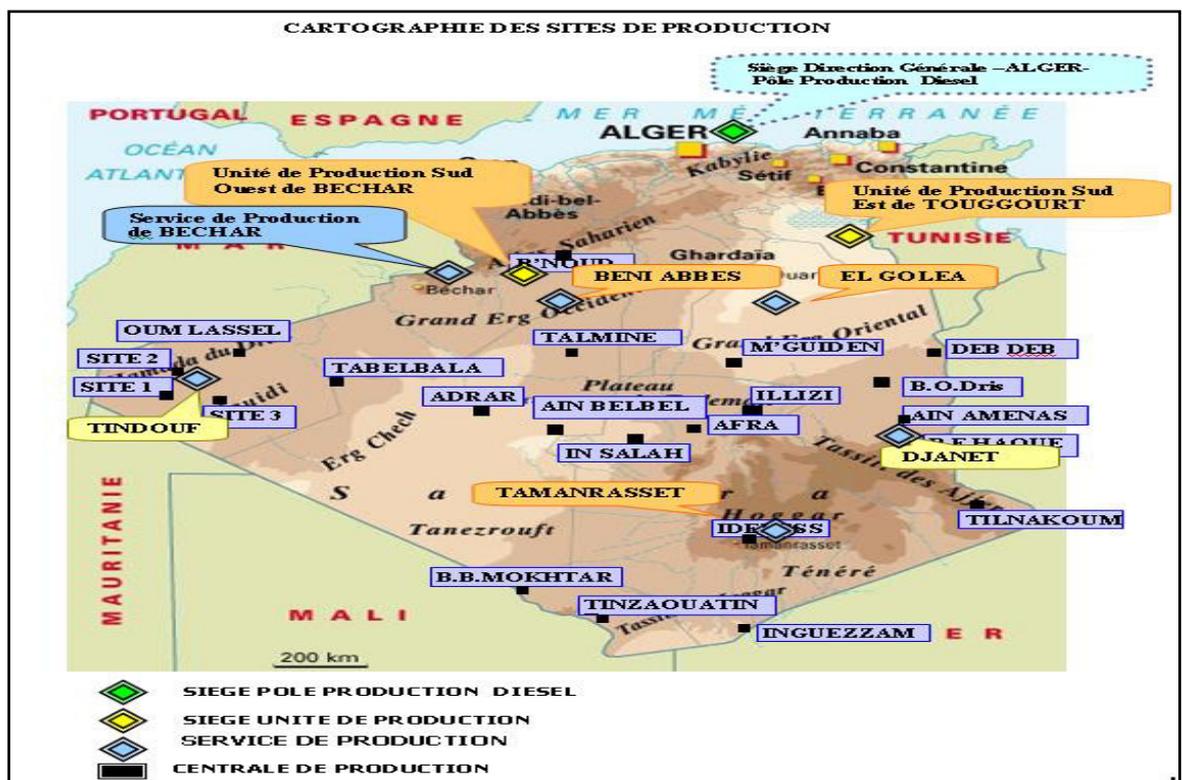


Figure I.1 : Cartographie des sites de production. [01]

I.2.4 Programme de production par S.K.T.M :

S.K.T.M est une filiale de Sonelgaz Spe avec un programme d'urgence visant à garantir un passage été 2013 a été marqué par un apport en puissance additionnelle le 121.3 MW soit 101 MW en turbines à gaz mobiles, 20.3 MW en groupes diesel, et 20 MW de capacité récupérée grâce un plan de maintenance [02].

CHAPITRE I

Ce programme a ramené la capacité totale des réseaux isolés du sud à 336 MW, alors que la puissance maximale appelée n'a pas dépassé les 208 MW, ce qui a permis d'assurer une période estivale sans délestage, dans les régions du sud du pays (Unité de production sud-est).

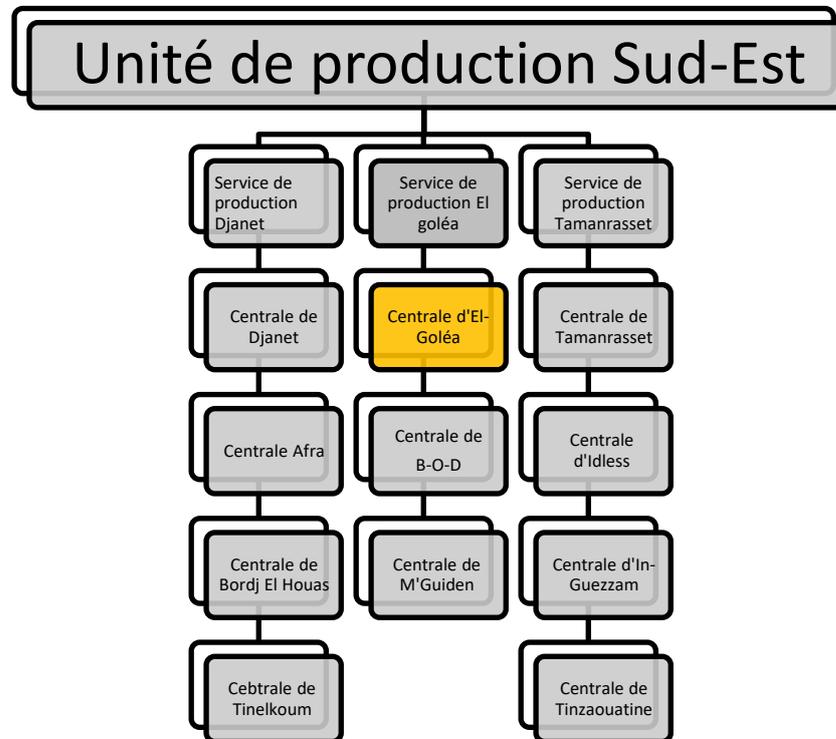


Figure I.2 : Organigramme de l'unité de production Sud Est. [02]

I.2.5 Situation géographique :

Le complexe de production l'énergie électrique situé à 6 km de nord – est de la ville, et la centrale Turbo mach el goléa est délimitée par :

- **Nord** : Chantier de la nouvelle ville.
- **Ouest** : L'ancienne centrale de Sonelgaz.
- **Est** : Terrain vague.
- **Sud** : La route national 01.
- **Superficie totale** : 60.000 m².
- **Capacité de production** : 40 MW.
- **Alimentation en eau** : Réseau ADE, Bâche à eau destinée au réseau d'incendie 2×500 m³.
- **Alimentation en électricité** : Une connexion au réseau national, 01 groupe électrogène Black Start (Caterpillar®).

CHAPITRE I

- **Alimentation gaz** : Réseau Sonelgaz à partir de l'entreprise GRTG SONELGAZ [02].



Figure I.3 : Image satellite de situation de la centrale d'el goléa [02]

I.2.6 Historique de la centrale d'el meniaa ou (el goléa) :

D'après l'expansion en 2004 jusqu'à 2006 de Sonelgaz par des autres filiales sont assurés ces activités :

- Société Algérienne de Production de l'Electricité (SPE).
- Société Algérienne de Gestion du Réseau de Transport de l'Electricité (GRTE).
- Société Algérienne de Gestion du Réseau de Transport du Gaz (GRTG).
- Société Algérienne de Distribution de l'Electricité et du Gaz d'Alger (SDA).
- Société Algérienne de Distribution de l'Electricité et du Gaz du Centre (SDC).
- Société Algérienne de Distribution de l'Electricité et du Gaz de l'Est (SDE).
- Société Algérienne de Distribution de l'Electricité et du Gaz de l'Ouest (SDO).

Et en 2013 établir le Falier SKTM, société de l'électricité et les énergies renouvelable pour la gestion des centrales enragés renouvelable, qui fait la gestion de la centrale de production l'électricité à ville d'el meniaa qui s'installe par le constructeur TURBOMACH CATERPILLAR COMPANY.

CHAPITRE I

La centrale est fondée 1983 avec quatre groupes du constructeur FUJI de puissance 2 MW par groupe. En 1991, il y a une extension par six groupes du constructeur CMI de 12000KW avec tous les équipements nécessaires pour une centrale isolée.

En 2006 la puissance a été favorisée par deux groupes mobiles du constructeur IMM de 2000 KW chaque un, après le Park à la suite quatre groupes GE de 2500 KW chaque un et dans le futur proche ce Park sera renforcé par un groupe de 2000 KW pour améliorer la production qui reste toujours insuffisante durant la saison de pointe (l'été).

Et finalement, installation d'une nouvelle centrale turbine à gaz à côté de l'ancienne centrale diesel [02].

I.2.7 Organigramme de service el goléa :

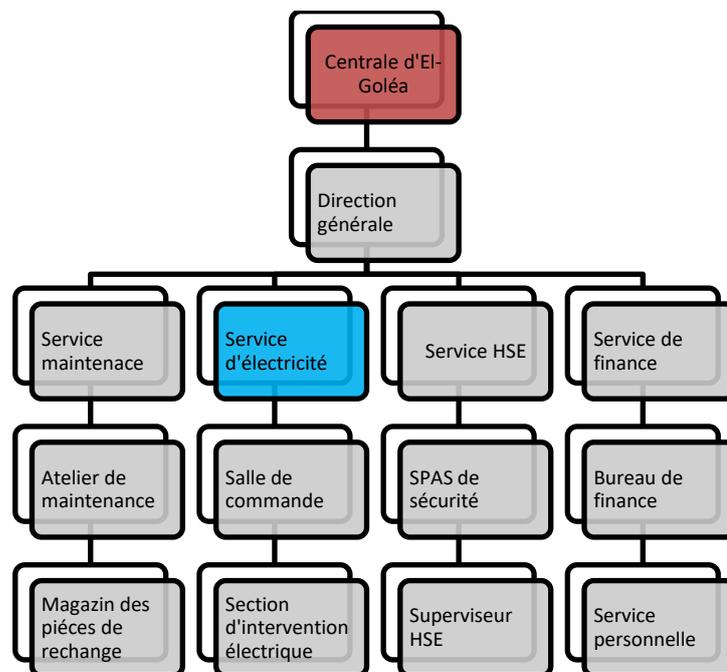


Figure I.4 : Organigramme de service el goléa. [02]

I.2.8 Fonctionnement de la centrale :

La nouvelle centrale de production l'énergie électrique à côté de l'ancienne centrale diesel produit l'électricité par la technologie des **turbines à gaz (TAG)** ou qui s'appelle les **turbines à combustion (TAC)**, donc elle contient 05 groupes turbo – alternateur avec une puissance totale de 40 MW :

- 03 TG DE PUISSANCE 10 MW (TITAN 130).

CHAPITRE I

- 02 TG DE PUISSANCE 05 MW (TAURUS 70).

Le combustible principal est le **GNL (gaz naturel liquéfier)** provenant de la station CPF KRECHEBA (central processing and facility) – sonatrach arrivant à une pression de 60 bars par le réseau Sonelgaz (GRTG Spa).

Le fuel (gasoil) brut utilisé comme combustible de secours avec une capacité de stockage de 3300 m³.

Les groupes turbo – alternateur structurées comme suite :

- Salle de contrôle et commande.
- Salle des batteries.
- Groupes turbo – alternateur 2x5 MW - T70.
- Groupes turbo – alternateur 3x10 MW – T130.
- Package groupe diesel de secours de 500 KW (Caterpillar).
- 2 Compresseurs airs instruments.
- Local traitement des eaux et laboratoire.
- Poste gaz.
- Réchauffeurs gaz.
- 2 Transformateurs principaux (élevateurs).
- 2 Transformateurs auxiliaires (abaisseurs).
- Bâtiment électrique MT/BT.
- Poste d'évacuation 30 KV [02].

I.3 Conclusion :

On peut dire comme conclusion de ce travaille les avantages est les inconvénients de ce type des centrales.

Les avantages :

- Durée d'installation plus courte que les autres centrales.
- Nombre des personnes réduit.
- Démarrage courte (8-15 min).
- Régulation plus précise.
- Pénurie de défauts par rapport centrale diesel

CHAPITRE I

Les inconvénients :

- Rendement très faible.
- Puissance limitée.
- Pièces de rechange couteux.

CHAPITRE

II :

**La maintenance et leur
méthodes utilisé (ABC /
AMDEC)**

CHAPITRE II

II.1 Introduction

Jusqu'à récemment, la direction au niveau intermédiaire et au niveau de l'entreprise ignorait l'impact de l'opération de maintenance sur la qualité du produit, les coûts de production et, plus important encore, sur le résultat net. L'opinion générale a été : "La maintenance est un mal nécessaire" ou "Rien ne peut être fait pour améliorer les coûts de maintenance". Il s'agissait peut-être de véritables déclarations il y a dix ou vingt ans. Cependant, le développement de microprocesseurs ou d'instruments informatiques pouvant être utilisés pour surveiller l'état de fonctionnement des équipements, des machines et des systèmes de l'usine a fourni les moyens de gérer les opérations de maintenance [03].

Aussi, l'activité de maintenance prend une part croissante dans les entreprises et tend à évoluer pour des besoins de réactivité et de coût notamment. Une évolution particulière porte sur la manière d'appréhender les phénomènes de défaillance : peu à peu les industriels tendent, non seulement à les anticiper afin de recourir à des actions préventives, mais en plus à le faire de manière la plus juste possible dans un objectif de réduction des coûts et des risques. Cette évolution a donné une part grandissante au processus de pronostic qui est aujourd'hui considéré comme un des principaux leviers d'action dans la recherche d'une performance globale [04].

Ce chapitre vise à présenter la relation entre maintenance et fiabilité, à décrire comment se déroule l'activité de maintenance, ainsi qu'à montrer la fiabilité et les méthodes de son analyse.

Tout cela afin d'obtenir une visualisation plus précise du rôle joué par deux des méthodes les plus importantes d'analyse de la fiabilité :

- Méthode de PARETO ;
- AMDEC.

II.2 Définition de la maintenance

La maintenance est « l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise » (NF EN 13306, 2010) [05] .

II.3 Type de maintenance :

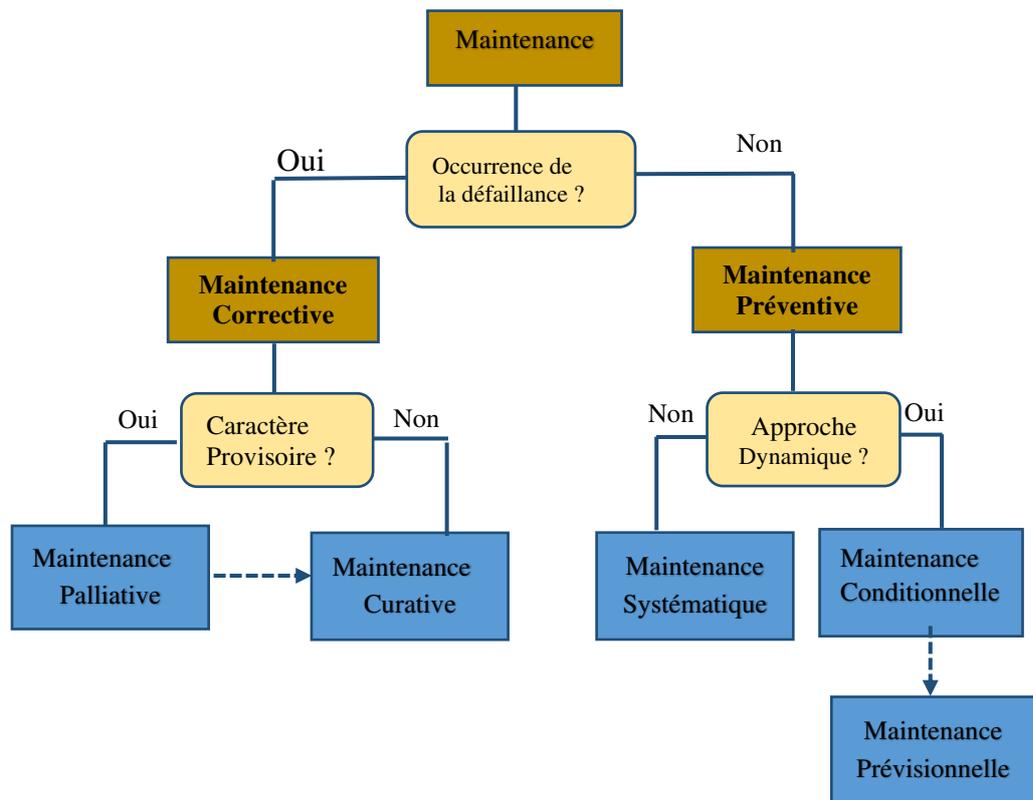


Figure II.1 : Types de maintenance. [04]

II.4 Maintenance préventive :

II.4.1 Définition :

Définition AFNOR (X-60-010) : Maintenance effectuée dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu [06].

II.4.2 Maintenance Systématique :

La maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien [07].

Avantage : C'est une maintenance facile à gérer car les périodes d'interventions sont fixes, elle permet :

- D'éviter les détériorations importantes.
- De diminuer les risques d'avaries imprévues.

CHAPITRE II

Inconvénient : Reposer sur la notion de MTBF et ne prends pas en compte les phénomènes d'usure[06].

II.4.3 Maintenance Conditionnelle :

La maintenance conditionnelle est définie selon la norme [NFE01], comme : une maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent.

La maintenance conditionnelle permet de mieux tenir compte des conditions d'utilisation d'un équipement que la maintenance systématique traditionnelle. Ceci étant, elle ne permet pas de dimensionner avec certitude les politiques de maintenance : la date d'occurrence de la défaillance reste incertaine [04].

[NFE01] : Norme X60-319/NF EN 13306 Terminologie de la maintenance. 2001. 6, 9, 10, 11.

Avantages • elle sécurise : détection de l'arrivée des défauts. • elle améliore la disponibilité par la planification des opérations. • elle favorise les facteurs humains (appel aux compétences des opérateurs).

Inconvénients • Pour être efficace elle doit être pensée dès la phase de conception [06].

II.4.4 But de la maintenance préventive :

Les bénéfices attendus sont effectivement nombreux :

- Réduction du nombre des pannes,
- Fiabilisation des productions,
- Amélioration de la sécurité du personnel et de l'image de l'entreprise,
- Réduction des périodes d'immobilisation des équipements (coûteuses),
- Augmentation du rendement de l'entreprise [04].

II.5 Objective de la maintenance :

La stratégie de maintenance, qui résulte de la politique de maintenance, impose des choix pour atteindre, voire dépasser, les objectifs fixés.

CHAPITRE II

Ces choix sont à faire pour :

- Développer, adapter ou mettre en place des méthodes de maintenance ;
- Élaborer et optimiser les gammes de maintenance ;
- Organiser les équipes de maintenance ;
- Internaliser et/ou externaliser partiellement ou totalement les tâches de maintenance ;
- Définir, gérer et optimiser les stocks de pièces de rechange et de consommables ;
- Étudier l'impact économique (temps de retour sur investissement) de la modernisation ou de l'amélioration de l'outil de production en matière de productivité et de maintenabilité.

La stratégie de maintenance implique la mise en œuvre d'un plan de maintenance avec des objectifs chiffrés et des indicateurs mesurables.

Les résultats mesurés sont comparés aux objectifs et font l'objet d'analyses.

Une partie importante de la stratégie de maintenance concerne les ressources humaines aussi bien chez les intervenants extérieurs à l'entreprise que dans le personnel de l'entreprise elle-même :

- Sélection, recrutement ;
- Formation du personnel ;
- Gestion des compétences et des habilitations ;
- Communication ;
- Etc [07].

II.6 Fiabilité :

II.6.1 Historique de la fiabilité :

Son histoire remonte à certains égards aux années 1930, lorsque des concepts de probabilité ont été appliqués aux problèmes de production d'électricité. Cependant, généralement la Seconde Guerre mondiale, lorsque les Allemands ont appliqué des concepts de fiabilité de base pour améliorer la fiabilité de leurs missiles V1 et V2, est considérée comme le véritable début du domaine de la fiabilité [08].

CHAPITRE II

Très tôt, de grandes entreprises ont montré un grand intérêt pour la fiabilité : General Motors, depuis les années 1940, la NASA, le *Department of Defense au Etats-Unis*, depuis les années 1950, Airbus, Air Force, Bell *Telephone Laboratoires*, depuis les années 1960, Thomson, Philips, Kodak, Citroën, ... depuis les années 1970. La recherche de la diminution du coût des défaillances en exploitation a entraîné une augmentation des exigences de fiabilité sur les systèmes. Ainsi, en 1995, General Electric a estimé que les coûts de non-fiabilité représentaient de 8 à 12 milliards dollars et a décidé d'augmenter le niveau de qualité de ses produits dans le cadre de la politique Six Sigma. La société Renault, quant à elle, estime qu'une modification effectuée au démarrage d'une série coûte de 10 à 100 fois plus cher que ce qu'elle aurait coûté deux ans ou 15 mois auparavant [09].

Deux développements majeurs dans la théorie mathématique de la fiabilité ont eu lieu au début des années 1950 :

- En 1951, le professeur *W. Weibull* de l'Institut royal de technologie de Stockholm a publié une distribution statistique pour représenter la résistance à la rupture des matériaux.
- En 1952, D. J. Davis a présenté les données de défaillance et les résultats de plusieurs tests de qualité d'ajustement pour les distributions de probabilité de défaillance concurrentes. Ce travail a fourni le support pour l'hypothèse d'une distribution de défaillance exponentielle qui est largement utilisée aujourd'hui pour représenter le comportement de défaillance de divers éléments d'ingénierie [08].

II.6.2 Définition de la fiabilité :

La fiabilité est la probabilité qu'un certain produit accomplisse avec succès une fonction requise sans défaillance, pendant une période de temps donnée, dans un environnement défini et pour une utilisation dont les conditions de fonctionnement sont spécifiées [10].

La notion de fiabilité s'interprète comme la probabilité $R(t)$ que l'entité considérée soit non défaillante sur la durée $[0, t]$ sachant qu'elle n'est pas défaillante à l'instant 0 [11].

II.6.3 Différents types de fiabilité :

On distingue plusieurs types de fiabilités ayant des termes spécifiques tels que :

II.6.3.1 Fiabilité opérationnelle :

CHAPITRE II

(Observée ou estimée) déduite de l'analyse d'entités identiques dans les mêmes conditions opérationnelles [12].

II.6.3.2 Fiabilité prévisionnelle :

(Prédite) correspondant à la fiabilité future d'un système et établie par son analyse connaissant les fiabilités des ces composants[12].

II.6.3.3 Fiabilité extrapolée :

Déduite de la fiabilité opérationnelle par extrapolation ou interpolation pour des conditions ou des durés différentes,

II.6.3.4 Fiabilité intrinsèque :

Est la fiabilité maximale que l'on peut attendre d'un matériel quand il fait l'objet d'une maintenance préventive efficace : c'est une valeur inhérente à sa conception. L'obtention de niveaux supérieurs de fiabilité nécessite donc soit des modifications, soit de nouvelles conceptions [12].

II.6.4 Indicateurs de fiabilité :

II.6.4.1 Fonction de fiabilité :

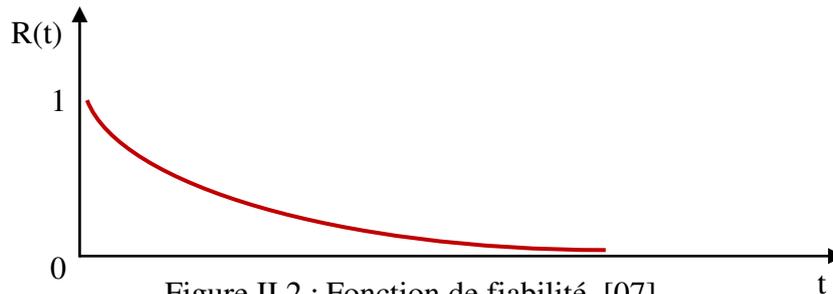
La fiabilité d'un dispositif au bout d'un temps t correspond à la probabilité pour que ce dispositif n'ait pas de défaillance entre 0 et l'instant t . En désignant par T la variable aléatoire caractérisant l'instant de défaillance du dispositif, la fiabilité s'exprime par la fonction $R(t)$ - de l'anglais "*Reliability*" - telle que :

$R(t) = \text{Prob} (\text{qu'une entité } E \text{ soit non défaillante sur la durée } [0 ; t], \text{ en supposant qu'elle n'est pas défaillante à l'instant } t = 0)$

$$R(t) = P(T \geq t) = 1 - F(t)$$

$F(t)$ est la fonction de répartition de la variable T [13].

La fonction de fiabilité a, en général, la forme suivante (figure II.2) :



La caractéristique contraire de la fiabilité est appelée défiabilité ou probabilité de défaillance du système. Elle est le complément à 1 de la fiabilité.

II.6.4.2 Taux de défaillance :

Le taux de défaillance représente la disposition d'un produit à briser en fonction de son âge, de son usure ou de sa durée d'opération. Le taux de défaillance est la probabilité, par unité de temps ou d'usage, que le système tombe en panne dans les instants qui suivent. Le taux de défaillance est une prédiction faite à l'instant t , qui dépend par conséquent de l'instant considéré. Il s'exprime en nombre de composantes défaillantes par unité de temps [10].

Le taux de défaillance d'un dispositif à l'instant t est donc défini par : [13]

$$\begin{aligned}\lambda(t) &= -\frac{dR(t)}{dt} \cdot \frac{1}{R(t)} \\ &= \frac{dF(t)}{d(t)} \cdot \frac{1}{R(t)} \\ \lambda(t) &= \frac{f(t)}{R(t)}\end{aligned}$$

L'évolution du taux de défaillance d'un produit pendant toute sa durée de vie est caractérisée par ce qu'on appelle en analyse de fiabilité la *courbe en baignoire*. (Figure II.3) Le taux de défaillance est élevé au début de la vie du dispositif. Ensuite, il diminue assez rapidement avec le temps (taux de défaillance décroissant), cette phase de vie est appelée période de jeunesse. Après, il se stabilise à une valeur qu'on souhaite aussi basse que possible pendant une période appelée période de vie utile (taux de défaillance constant). A la fin, il remonte lorsque l'usure et le vieillissement font sentir leurs effets, c'est la période de vieillissement (taux de défaillance croissant) :

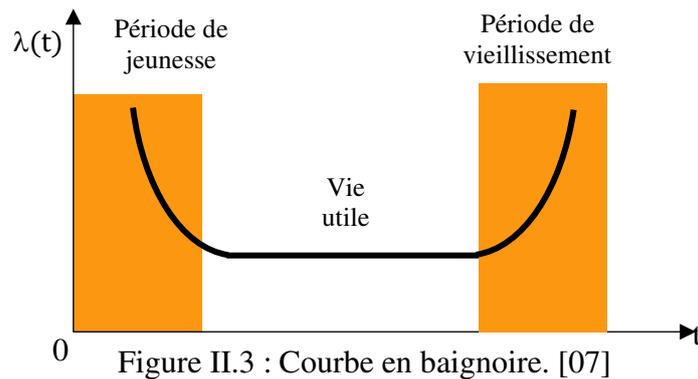


Figure II.3 : Courbe en baignoire. [07]

II.6.4.3 Métriques de Sûreté de Fonctionnement 'SdF' :

Des grandeurs associées à la SdF peuvent être calculées à partir des mesures de probabilités. Contrairement aux précédentes, qui sont fonction du temps, les grandeurs suivantes caractérisent des durées moyennes [09].

- **MTTF** : Durée moyenne de fonctionnement d'une entité avant la première défaillance (anglais *Mean Time To Failure*).

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

- **MTTR** : Durée moyenne de réparation (anglais *Mean Time To Repair*).

$$MTTR = \int_0^{\infty} [1 - M(t)] dt$$

$M(t)$ est Maintenabilité.

- **MUT** : Durée moyenne de fonctionnement après réparation (anglais *Mean Up Time*).
- **MDT** : Durée moyenne d'indisponibilité après défaillance (anglais *Mean Down Time*).
- **MTBF** : Durée moyenne entre deux défaillances (anglais *Mean Time Between Failure*).

$$MTBF = MDT + MUT$$

Ces durées sont représentées dans la figure II.4 :

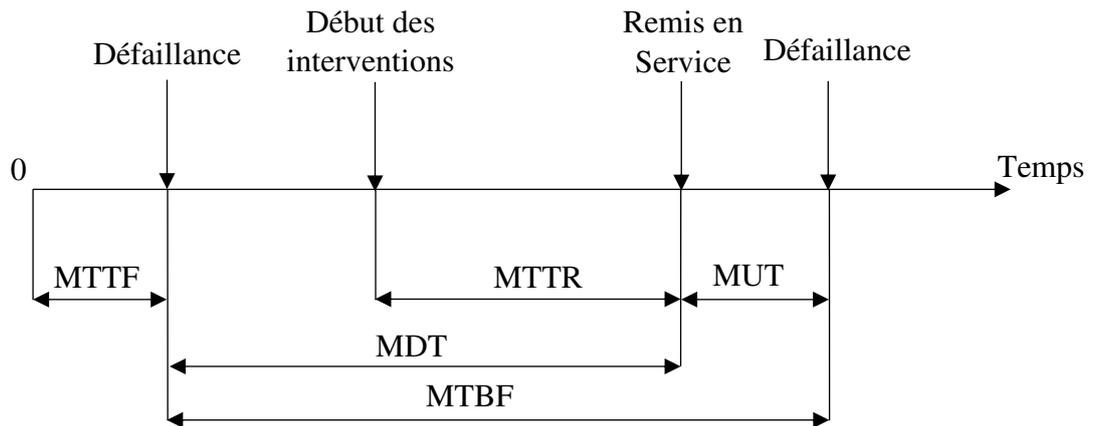


Figure II.4 : Durées moyennes associées à la SdF. [09]

II.7 Analyse de la fiabilité à partir de la méthode ABC – loi de PARETO :

II.7.1 Définition :

Inventée par cet économiste italien il y a plus d'un siècle, cet outil d'analyse est souvent appelé aussi classement ABC ou loi des 80/20. En peu de mots, ce mode de classement extrêmement simple permet, de résoudre 80 % des difficultés d'un problème en ne s'intéressant qu'à 20 % du sujet. Pour élémentaire qu'il soit, cet outil est utilisé quotidiennement par les logisticiens. Par exemple, on observe très fréquemment que 80 % des ventes ne concernent que 20 % des articles au catalogue. Il apparaît ainsi qu'il est intéressant d'automatiser la préparation desdits 20 % : retour optimal sur investissement. Ce type de classement peut se faire sur des critères très différents ; le logisticien devra choisir les critères qui concernent son activité comme :

- Nombre d'articles vendus
- Nombre de lignes de commandes
- Nombre de ventes en conditionnements multiples
- Nombre de ventes par palettes complètes
- Nombre d'erreurs de préparation
- Nombre de retours clients
- Importance de la démarque inconnue

Alors que le classement par chiffre d'affaires ou par marge générée lui importe peu dans son champ d'action.

CHAPITRE II

Les seuils habituellement utilisés sont les suivants :

- La classe « A » 20 % des références génèrent 80 % des mouvements
- La classe « B » 30 % des références génèrent 15 % des mouvements
- La classe « C » 50 % des références génèrent 5 % des mouvements

Rien n'interdit de modifier ces seuils si le besoin s'en fait sentir ou de multiplier le nombre de classes ; les logiciels courants de gestion d'entrepôt en proposent souvent plus d'une dizaine. Cet outil d'un usage quasi universel peut par exemple servir aussi à analyser les dysfonctionnements du système transitaire afin de donner des priorités au service maintenance [14].

II.7.2 But de la méthode ABC :

L'analyse ABC est une analyse permettant :

- D'établir la proportionnalité ou l'importance de chaque élément étudié dans l'ensemble des éléments.
- De trier et donc de classer les éléments les uns par rapport aux autres.
- De tirer les enseignements de cette proportionnalité.
- De vérifier la concentration grâce à l'indice de concentration de Gini
- De déterminer l'importance relative de causes ou d'autres critères.
- De les classer par ordre d'importance.
- De dégager les axes prioritaires.

II.7.3 Présentation de la loi PARETO :

Diagramme de Pareto est élaboré en plusieurs étapes :

- Déterminer le problème à résoudre.
- La collecte de données

La collecte des données est une action essentielle car toute l'analyse va être basée sur la validité des informations recueillies.

Il convient donc de vérifier :

CHAPITRE II

- La justesse des périodes de mesures.
- La véracité des enregistrements.
- Les unités de mesure identiques pour l'ensemble de la source de données.
- La cohérence des catégories.
- Le regroupement des causes mineures en une seule catégorie "Divers".
- Classer les données en catégories et prévoir une catégorie "Divers" pour les catégories à peu d'éléments.
- Quantifier l'importance de chaque catégorie et déterminer le pourcentage de chacune par rapport au total.
- Classer ces pourcentages par valeur décroissante, la catégorie "Divers" est toujours en dernier rang [15].

II.8 Analyse de la fiabilité à partir de la méthode AMDEC :

II.8.1 Historique :

Développée tout d'abord dans le domaine militaire, puis dans le domaine de l'aéronautique, la méthode a été mise au point dans les années 1960 par la société Mc Donnell Douglas pour l'analyse de la sécurité des avions. Elle a été perfectionnée par la NASA, puis adoptée par des constructeurs d'automobiles tels que Toyota, Nissan, Ford, BMW, Peugeot, Volvo, Chrysler, etc. Bien qu'ayant subi de nombreuses critiques dues au coût et à la lourdeur de son application, elle reste une des méthodes les plus répandues et l'une des plus efficaces. Elle est en effet de plus en plus utilisée en sécurité et en maintenance sur les matériels, machines, systèmes complexes, services, logiciels, etc [10].

II.8.2 Définition :

L'AMDEC est l'acronyme de l'analyse des modes de défaillance, de leurs effets et leur criticité. C'est une méthode d'analyse préventive de la sûreté de fonctionnement qui permet une analyse systématique, composant par composant, de tous les modes de défaillance possible et qui précise leurs effets sur le système global. Elle a pour but d'analyser les conséquences des défaillances et d'identifier les pannes dont les répercussions sur la sécurité sont importantes. L'analyse de criticité permet de classer les risques afin de s'attacher à réduire, en priorité les plus importants qui sont jugés inacceptables [11].

CHAPITRE II

L'AMDEC présente l'avantage de pouvoir être mis en œuvre tout au long du cycle de vie d'un système. Cependant, elle est principalement utilisée en tant que technique d'analyse préventive pour détecter les défaillances potentielles, évaluer les risques et susciter des actions de prévention.

II.8.3 Objectifs de l'AMDEC :

L'AMDEC est une technique qui conduit à l'examen critique de la conception afin de :

- Evaluer et de garantir la sûreté de fonctionnement d'un moyen de production.
- Réduire les temps d'indisponibilité après défaillance : prise en compte de la maintenabilité dès la conception, amélioration de la testabilité, aide au diagnostic, amélioration de la maintenance corrective.

II.8.4 Types de l'AMDEC :

II.8.4.1 AMDEC-Produit : (ou projet ou composants ou conception) qui analyse la conception d'un produit pour en améliorer la fiabilité.

L'AMDEC-Conception est avant tout une méthode prévisionnelle utilisée par les concepteurs. Dans ce contexte, elle vise essentiellement à améliorer la qualité, la fiabilité, la maintenabilité des équipements neufs. Elle permet de proposer des modifications constructives dès la conception du produit, de préparer les recommandations de maintenance préventive, de souligner au concepteur des points particuliers tels que l'accessibilité, l'interchangeabilité et la modularité et de réduire les risques de défaillance du matériel. Elle est surtout utilisée dans les secteurs de la qualité et de la maintenance [10].

II.8.4.2 AMDEC-Moyen de production :

(Ou processus) qui analyse des opérations de production pour améliorer la qualité de fabrication du produit.

Elle se focalise sur un moyen de production afin de diminuer la quantité de rebuts et le taux de défaillances, et d'augmenter sa capacité. Elle est surtout utilisée dans les secteurs de la qualité et de la maintenance [10].

CHAPITRE II

II.8.4.3 AMDEC-Procédé :

Qui est utilisé afin d'améliorer et de fiabiliser le procédé, en constatant les effets des défaillances sur la productivité. Elle permet de valider la gamme de contrôle d'un produit afin qu'il satisfasse aux caractéristiques du bureau d'études. Elle est surtout utilisée dans le domaine de la maintenance [10].

II.8.4.4 AMDEC-machine :

Qui analyse la conception ou l'exploitation d'un équipement de production pour améliorer sa disponibilité et sa sécurité [10].

II.8.4.5 AMDEC-sécurité :

Qui s'applique pour assurer la sécurité des opérateurs [10].

II.8.4.6 AMDEC-Maintenance (on exploitation) :

En maintenance, l'AMDEC s'applique sur un équipement ou une machine en exploitation. La méthode consiste à analyser des défaillances réelles, constatées et non des défaillances potentielles. Elle s'appuie sur l'expérience des exploitants de l'équipement étudié, sur un examen des défaillances déjà constatées sur les matériels étudiés ou sur des matériels similaires. L'objectif, ici, est d'augmenter la disponibilité des matériels en agissant sur la maintenance ou en effectuant des modifications ponctuelles du matériel [10].

II.8.4.7 AMDEC-Organisation :

Qui s'applique aux systèmes de gestion, aux systèmes d'information et de production, au service du personnel, au marketing, au service des finances et à l'organisation des tâches de travail [10].

II.8.4.8 AMDEC-Service :

Qui vérifie si la valeur ajoutée par les travaux d'un service correspond aux attentes du client [10].

CHAPITRE II

II.8.5 AMDEC Machine :

II.8.5.1 Les intérêts :

Le groupe qui procède à l'AMDEC recherche essentiellement des solutions pour être mise en place par la maintenance elle-même en particulier :

- Réduire le nombre de défaillances,
- Prévention des pannes.
- Fiabilisation de la conception.
- Amélioration de la fabrication, du montage, de l'installation.
- Optimisation de l'utilisation et de la conduite.
- Amélioration de la surveillance et des tests.
- Amélioration de la maintenance préventive.
- Détection précoce des dégradations.
- Réduire les temps d'indisponibilité après défaillance.
- Prise en compte de la maintenabilité dès la conception.
- Amélioration de la testabilité.
- Amélioration de la maintenance corrective.
- Amélioration de la sécurité.

II.8.5.2 Cas d'application :

L'AMDEC machine est particulièrement destinée aux constructeurs (AMDEC prévisionnelle) et aux utilisateurs de machines (AMDEC opérationnelle).

II.8.6 Démarche pratique :

La méthodologie doit être établie pour le système dans son ensemble. Elle se détaille comme suit :

- Chaque composant est considéré séparément ;
- On envisage divers modes de défaillance (rupture, corrosion) ;
- On analyse les conséquences pour le système ;
- On fournit des recommandations pour améliorer la maintenabilité.

CHAPITRE II

La méthode comprend des aspects qualitatifs et quantitatifs. Les aspects qualitatifs sont :

- Le recensement des défaillances potentielles ;
- L'identification des causes ;
- L'identification des effets sur les clients ou utilisateurs et sur l'environnement [10].

Les aspects quantitatifs sont :

- L'estimation du risque (pu l'impact sur le client) associé à la défaillance afin de hiérarchiser les défaillances potentielles ;
- La hiérarchisation des actions correctrices [10].

L'application de la méthode comprend 7 étapes principales qui s'agencent de la façon décrite dans l'ordinogramme de la figure II.5 :

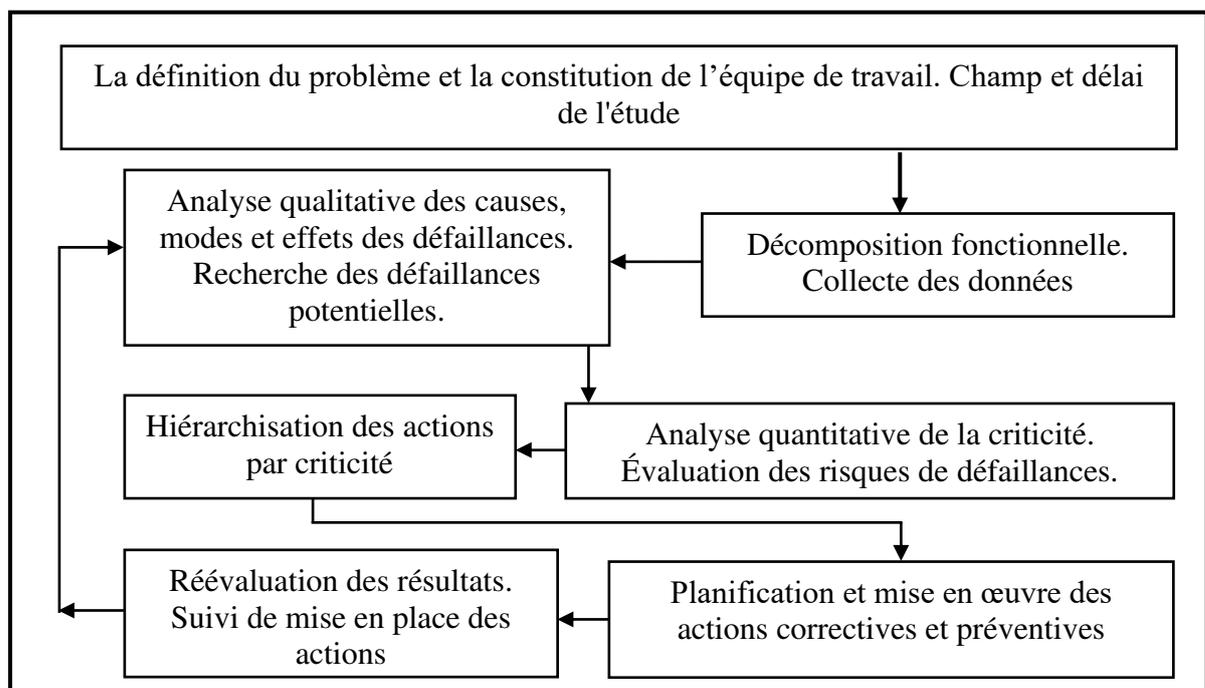


Figure II.5 : Organisation de la méthode AMDEC. [10]

II.8.6.1 Étape 1 de la méthode AMDEC : La définition du problème :

Cette étape consiste à décrire le problème, à définir le système à étudier, que ce soit la machine complète ou un sous-ensemble, son fonctionnement, la mission à accomplir et les objectifs à atteindre (par exemple, l'amélioration de la fiabilité, de la maintenabilité, de la disponibilité, de la sécurité ou de la maintenance), puis à réunir les documents d'information

CHAPITRE II

nécessaires (plans, description du processus, notices de fonctionnement, procédures d'utilisation) [10].

Il faut déterminer comment et à quelle fin l'AMDEC sera exploitée et définir les moyens nécessaires, l'organisation et les responsabilités associées. Il faut donc choisir le sujet de l'étude, définir les objectifs, déterminer les limites de l'action et constituer un groupe de travail qui aura comme buts :

- D'identifier les causes de défaillances,
- D'identifier leurs effets,
- De hiérarchiser les défaillances par une notation et
- De déterminer des actions correctives préventives.

Le problème est : défini par le responsable avec l'aide de l'animateur, puis précisé avec le groupe de travail. Le groupe de travail doit être multidisciplinaire (service des études, achats, marketing, maintenance, qualité, méthodes et fabrication). Les équipes formées de 4 à 6 personnes sont les plus efficaces [10].

Le groupe de travail aura pour tâche :

- D'analyser les expériences d'avaries (bris, détérioration) ;
- D'analyser l'expérience des individus ;
- De décomposer le produit en fonctions ;
- D'établir au préalable des critères de décision ;
- De définir la procédure ;
- D'établir un planning comprenant le nombre de réunions (chaque réunion devant être limitée à 2 heures pour rester efficace) et l'échéancier de l'étude ;
- De mettre au point des soutiens pour l'étude, comme des grilles de travail et des méthodes d'évaluation de la criticité ;
- De préparer les tableaux de saisie des données et de synthèse [10].

II.8.6.2 Étape 2 : La décomposition fonctionnelle :

Le but de l'analyse fonctionnelle est de déterminer :

- Les fonctions principales pour lesquelles le système a été conçu ;

CHAPITRE II

- Les contraintes qui répondent aux relations avec le milieu extérieur ;
- Les fonctions élémentaires des différents composants élémentaires du système.

Pour réaliser l'analyse fonctionnelle, on doit définir le besoin et les fonctions qui correspondent au besoin, c'est-à-dire :

- Décrire le besoin ;
- Décrire la façon dont il est satisfait ;
- Décrire comment il pourrait ne pas l'être ;
- Définir l'utilité de la fonction ;
- Déterminer qui est le client ;
- Déterminer la défaillance potentielle de la fonction ;
- Établir un arbre fonctionnel en définissant les sous-fonctions ou l'ensemble des fonctions élémentaires sous forme de blocs fonctionnels ou d'ordinogramme.

L'AMDEC se rapporte à des systèmes complexes (unité de production, usine, équipement spécialisé). Un système complexe peut se décomposer en plusieurs niveaux : système (niveau dit sommet), sous-système, composant (niveau de base), etc. (figure II.6) :

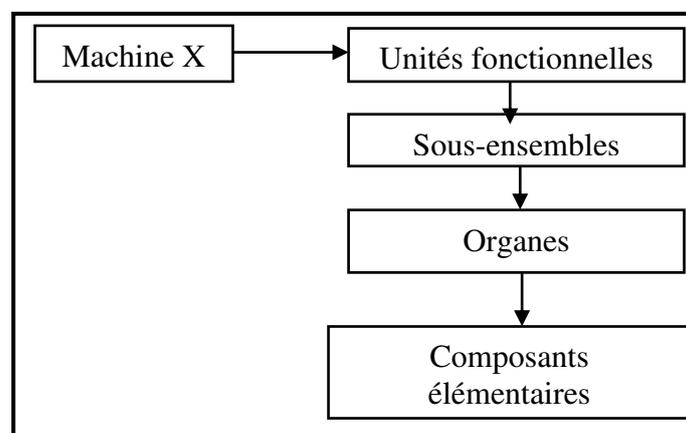


Figure II.6 : Bloc fonctionnels d'une machine. [15]

Un système se compose de plusieurs processus. Un processus se compose de plusieurs procédés. Un procédé se compose de plusieurs tâches. Pour établir l'arbre fonctionnel, il faut définir des fonctions du niveau A (fonctions principales) jusqu'au niveau Z (fonctions élémentaires des composants). On doit retrouver dans l'arbre fonctionnel les niveaux de logique qui consistent à :

CHAPITRE II

- Recevoir une fonction ;
- Transformer la fonction ;
- Transmettre la fonction transformée [10].

II.8.6.3 Étape 3 : Etude qualitative :

Un mode de défaillance est la façon dont un produit, un composant, un ensemble, un processus, une organisation s'écarte des spécifications.

Selon des fonctions définies lors de l'analyse fonctionnelle, l'étude qualitative consiste à :

- Identifier toutes les défaillances possibles.
- Déterminer les modes de défaillance.
- Identifier leurs effets.
- En trouver les causes [10].

Modes de défaillance :

Un mode de défaillance s'exprime par la manière dont un équipement ne remplit plus sa fonction. Par exemple :

- Perte de fonction : rupture, blocage, grippage, coincement, composant défectueux, obstruction de circuit hydraulique, flambage ;
- Fonctionnement intempestif : coup de bélier ;
- Refus d'arrêter au moment prévu ;
- Refus de démarrer au moment prévu : absence de jeu, fuite, circuit hydraulique bouché, court-circuit, connexion desserrée ;
- Fonctionnement dégradé : jeu, déformation, vibration, desserrage, corrosion, perte de performance, fatigue, fissure, déformation, désalignement, etc.

On doit spécifier :

- L'impact sur la sécurité, la production et la qualité ;
- La fréquence ;
- La difficulté de détecter une défaillance ;

CHAPITRE II

- Les effets induits (sur la sécurité, le coût, etc.).

Causes de défaillances :

La cause est l'anomalie susceptible de conduire à la défaillance. Elle s'exprime en termes d'écart par rapport à une norme fixée d'avance.

On définit et décrit les causes de chaque mode de défaillance pour pouvoir en estimer la probabilité, en déceler les effets et prévoir les actions correctives.

Les causes possibles peuvent se manifester au niveau de la conception, de la fabrication ou de l'exploitation et sont par exemple :

- De nature technique : contraintes, fatigue, états de surface, vieillissement, colmatage, fuite, mauvais dimensionnement, matière imparfaite, chaleur, mauvais traitement thermique, fissures, balourd, etc.
- De source humaine : conception, montage, réglage, contrôle, outils, utilisation, défaut de graissage, mauvaise maintenance, mauvaises soudures ;
- Dues à un manque d'organisation ;
- D'origine environnementale : température, eau, huile, poussières, copeaux, échauffement, chocs, vibrations ;
- Dues à une documentation absente, fausse ou désuète [10].

Effet d'une défaillance :

Il faut évaluer les effets des modes de défaillance. L'effet d'une défaillance est la concrétisation de la conséquence de cette défaillance sur le client de l'équipement étudié (client satisfait ou non). Les effets de modes de défaillance d'une entité donnée sont étudiés d'abord sur les composants qui partagent une interface avec celle-ci (effet local) et ensuite de proche en proche (effets de gone) vers le système et son environnement (effet global).

Les effets peuvent avoir un impact sur :

CHAPITRE II

- La sécurité des opérateurs et de l'environnement : sans influence, influence mineure sans blessure, influence moyenne avec blessure, influence importante avec risque de mort ;
- La fiabilité : influence mineure, significative, critique, catastrophique ;
- La qualité du produit fabriqué ;
- La disponibilité (en fonction du temps d'arrêt de fonctionnement) du moyen de production ;
- La maintenabilité (en fonction du temps de réparation MTTR) et le coût de la maintenance.

Il est important de noter que lorsqu'une entité donnée est considérée selon un mode de défaillance donné, toutes les autres entités sont supposées en état de fonctionnement normal [10].

Détection de l'effet :

Lorsqu'un effet de la défaillance est détecté, il faut déterminer s'il aurait été possible de le détecter prématurément et s'il est possible d'implanter un système de surveillance. La détection peut être effectuée par contrôle, par mesure, par calcul ou par formation du personnel. Les symptômes sont appelés anomalies et peuvent être observés ou mesurés de manière précoce. Ceux-ci traduisent l'apparition d'une défaillance et se manifestent par des paramètres physiques tels que la dimension, la forme, l'état de surface, les vibrations, l'échauffement, la dégradation des lubrifiants, les traces d'usure, les fissures, la coloration, le bruit, l'odeur, l'aspect, etc [10].

Tableau AMDEC : mode, cause, effet, détection :

Les effets, modes et causes de défaillance peuvent être indiqués sous forme de tableau (tableau II.1). Le tableau AMDEC est constitué de plusieurs colonnes :

- Les deux premières colonnes permettent de décrire l'organe considéré et ses fonctions.
- La troisième colonne décrit les modes de défaillance potentiels (rupture, fatigue, desserrage, corrosion) pour chaque fonction.
- La quatrième colonne décrit les causes possibles pour chaque mode de défaillance.
- La cinquième colonne décrit les effets possibles des défaillances pour chaque cause (arrêt de production, temps de réparation trop long, etc.).
- La sixième colonne indique les symptômes observables pour aider à la maintenance conditionnelle [10].

CHAPITRE II

Tableau II.1 : Mode, Cause, Effet, Détection. [15]

Identification du problème	Étude fonctionnelle	Étude qualitative			
		Mode	Cause	Effet	Détection
Indiquer le composant.	Lister toutes les fonctions devant être assurée par le composant considéré.	Lister tous les modes de défaillance pour chaque fonction.	Lister toutes les causes pour chaque mode.	Pour chaque cause, lister les effets les plus graves. Estimer le temps d'intervention.	Trouver pour chaque effet, les moyens de détections possibles.

II.8.6.4 Étape 4 : Etude quantitative :

Il convient de classer les effets des modes de défaillance par criticité, par rapport à certains critères de fonctionnement préalablement définis pour un système en fonction des objectifs fixés (fiabilité, sécurité, etc.). Il s'agit d'une estimation, selon certains critères à définir, de l'indice de criticité du trio cause-mode-effet de la défaillance potentielle étudiée. On peut se baser sur l'historique des bris, le retour d'expériences et les données de fiabilité [10].

Une défaillance est importante si :

- Ses conséquences sont graves (**G** : Gravité).
- Elle se produit souvent (**O** : probabilité d'occurrence).
- On risque de ne pas la détecter (**D** : probabilité de non-détection).

Dans la pratique, on attribue une note à chacun des trois critères soit à l'aide une échelle de 1 à 4 ou 1 à 5 si la distinction entre chaque évaluation est floue, soit à l'aide d'une échelle de 1 à 10 si la distinction est discriminante.

L'indice de Criticité C s'obtient en multipliant les 3 notes précédentes :

$$C = G \times O \times D$$

Détection (D) :

On peut classer le critère Détection (D) selon des rangs prédéterminés.

CHAPITRE II

Sur une échelle de 1 à 4 :

Tableau II.2 : L'échelle du critère Détection (D). [15]

Évidente	Dispositif (ou alarme) automatique, détection sûre de la cause.	1
Possible	Détection nécessitant l'intervention d'un opérateur.	2
Improbable	Détection nécessitant un démontage ou un appareillage.	3
Impossible	Aucun signe avant-coureur de la défaillance.	4

Fréquence (O) :

On peut classer le critère Fréquence (O) en plusieurs rangs selon le type d'événement.

Sur une échelle de 1 à 4 :

Tableau II.3 : Première échelle du critère Fréquence (O). [10]

Événement quasi impossible	Probabilité inférieure à 1 chance sur 1 milliard	1
Événement très improbable	Probabilité comprise entre 1 chance sur 1 million et 1 chance sur 1 milliard	2
Événement improbable	Probabilité comprise entre 1 chance sur 1000 et 1 chance sur 1 million	3
Événement possible	Probabilité supérieure à 1 chance sur mille	4

Ou bien :

Tableau II.4 : Deuxième échelle du critère Fréquence (O). [15]

Rare	Moins de 1 défaillance par an	1
Possible	Moins de 1 défaillance par trimestre	2
Fréquente	Moins de 1 défaillance par semaine	3
Très fréquente	Plusieurs défaillances par semaine	4

Gravité (G) :

On peut classer le critère Gravité (G) selon plusieurs rangs.

Sur une échelle de 1 à 4 :

Tableau II.5 : L'échelle du critère Gravité (G). [15]

Sans influence	1
Pas critique ou arrêt de production sans rebut	2
Critique ou arrêt de production et rebut	3
Très critique ou bris	4

CHAPITRE II

Le temps d'intervention de maintenance corrective T (arrêt de production) ainsi que le temps de bon fonctionnement MTBF sont également des éléments à considérer pour évaluer la gravité.

Évaluation de la criticité :

La criticité $C = G \times O \times D$ peut être évaluée, pour chaque cause de défaillance détectée, sur une base soit de 1000, de 125 ou de 64, selon l'échelle choisie. Il est conseillé d'appliquer la même échelle pour chaque critère de Détection, Occurrence et Gravité afin de ne pas favoriser un critère par rapport à l'autre. Les résultats peuvent être présentés sous forme de tableau (tableau II.6).

Tableau II.6 : Évaluation de la criticité. [15]

Identification du problème	Étude fonctionnelle	Étude qualitative				Étude qualitative			
		Mode	Cause	Effet	Détection	D	O	G	C
Composant	Fonction					1 à 4	1 à 4	1 à 4	D × O × G

II.8.6.5 Étape 5 : Hiérarchisation :

Les modes de défaillance d'un composant sont hiérarchisés selon la criticité de leurs effets. Cette typologie permet d'identifier les composants les plus critiques et de proposer alors les actions et les procédures juste nécessaires pour les corriger.

On a besoin de hiérarchiser la criticité afin de décider quelles seront les mesures prioritaires. On peut regrouper les résultats en 4 catégories (tableau II.7) :

Tableau II.7 : Seuille de criticité. [15]

Criticité	Seuille	Echelle de 1 à 4
Criticité interdite (seuille de criticité)	4	$C > 16$
Criticité élevé	3	$8 < C \leq 16$
Moyenne critique	2	$4 < C \leq 8$
Peu critique (négligeable)	1	$C \leq 4$

CHAPITRE II

II.6.5.6 Étape 6 : Recherche des actions préventives :

Un groupe de travail sera formé réfléchir comment réduire la criticité :

- Réduire la fréquence (modification de la conception).
- Réduire la probabilité de non détection (modification du système de contrôle).
- Réduire la gravité (modification de la conception).

Les actions correctrices sont des moyens, dispositifs, procédures permettant de diminuer la criticité. Elles sont de trois types :

- Actions de prévention, pour éviter l'apparition des causes et améliorer la fiabilité dès la conception (fiabilité, sécurité à la conception, calculs, essais, contrôles, limites d'utilisation, documentation, maintenance préventive ou conditionnelle).
- Actions de détection, pour détecter une anomalie (système de surveillance conditionnelle, inspection permanente, contrôle, visite périodique, suivi des paramètres de dérive)
- Action de réduction des effets, pour limiter les temps d'indisponibilité, réduire les non-conformités, réduire les coûts de maintenance corrective, réduire les impacts sur la sécurité (redondances, systèmes d'alarme et de protection, assurance qualité, pièces de rechange, magasin, procédures de maintenance corrective, historique des interventions)

On décidera de passer à l'action ou de prendre des mesures correctives ou d'agir ou d'intervenir selon de la criticité (tableau II.8) :

Tableau II.8 : Tableau de décision. [15]

Echelle de 1 à 4	Criticité
$C \leq 4$	<ul style="list-style-type: none">• Maintenance corrective.• Aucune modification de conception.
$4 < C \leq 8$	<ul style="list-style-type: none">• Maintenance préventive, systématique.• Amélioration des performances.• Limites du seuil résiduel à ne pas dépasser.
$8 < C \leq 16$	<ul style="list-style-type: none">• Maintenance préventive.• Révision de la conception.
$C > 16$	<ul style="list-style-type: none">• Remise en cause de la conception.• Seuil critique

Les résultats seront inclus dans le tableau AMDEC sous forme de 2 colonnes (Tableau II.9) :

CHAPITRE II

- Une colonne indique les temps d'arrêt constatés.
- Une colonne indique les recommandations et la méthode de prévention.

Tableau II.9 : Action préventives. [15]

Identification du problème	Étude fonctionnelle	Étude qualitative	Étude qualitative	Action préventives	
Composant	Fonction			Temps d'arrêt	Recommandation méthodes de préventives

II.8.6.7 Étape 7 : Suivi des actions et réévaluation de la criticité :

Suite aux interventions, il faut réévaluer la performance. Ceci est effectué en calculant la criticité modifiée. Les résultats sont inclus dans le tableau AMDEC.

II.8.7 Avantages et Inconvénients de la méthode AMDEC :

II.8.7.1 Avantages de la méthode AMDEC :

La maîtrise des risques à l'aide de la méthode AMDEC permet de mener des actions préventives, c'est-à-dire de résoudre les problèmes avant que ceux-ci ne se présentent. Si cette méthode est suivie tout au long du cycle de vie du produit, la production en sera améliorée et débarrassée de problèmes majeurs.

II.8.7.2 Inconvénients de la méthode AMDEC :

L'AMDEC nécessite une connaissance poussée de la question à étudier. En général, un brainstorming avec plusieurs personnes impliquées de la conception à la livraison du produit est nécessaire. Pour cela, il faut donc qu'une équipe puisse se mettre d'accord sur les modes de défaillance étudiés. Cette méthode est, de ce fait, lourde à mettre en place.

II.9 Conclusion :

En fin de ce chapitre, après présentation des méthodes d'analyse de fiabilité et leur démarche, cette méthode permettant de créer une étude analytique de l'état de fonctionnement de nos turbine TURBOMACH T70.

CHAPITRE

III :

**Etude descriptive de turbine
à gaz TURBOMACH T70**

CHAPITRE III

III .1 Introduction :

Les turbines à gaz sont des groupes de force dont l'utilisation dans l'industrie des hydrocarbures est très répandue, compte tenu de ses excellentes performances (rendement varie entre 25% à 35 % utilisée seule, et supérieur à 55 % en cycle combiné), à de faciles adaptations, à des régimes variables des processus d'exploitation et à de modes de démontage en blocs qui permettent des périodes de fonctionnement entre réparations de plus en plus élargies.

Les turbines sont connues comme étant des appareils dans lesquels a lieu un échange d'énergie entre un rotor tournant autour d'un axe (vitesse constante et un fluide en écoulement permanent). Selon le type de fluide utilisé, dit fluide actif ou fluide moteur, on a affaire à une turbine hydraulique, une turbine à vapeur ou une turbine à gaz. Cette dernière est actionnée par un moteur, une turbine à détente ou autre moyen au moment de son démarrage.

Les turbines à gaz au niveau de centre de **production d'électricité el goléa** (S.K.T.M) sont de type TURBOMACH T70 Elles sont utilisées pour entraîner des compresseurs.

III .2 Définition de la turbine à gaz :

Une turbine à gaz, appelée aussi turbine à combustion, est une machine tournante thermodynamique appartenant à la famille des moteurs à combustion interne dont le rôle est de produire de l'énergie mécanique (rotation d'un arbre) à partir de l'énergie contenue dans un hydrocarbure. La turbine à gaz est un moteur thermique réalisant les différentes phases de son cycle thermodynamique dans une succession d'organes traversés par un fluide moteur gazeux en écoulement continu [16].



Figure III.1 : Vue extérieure d'une turbine à gaz TURBOMACH T70.

[03]

CHAPITRE III

III.3 Pourquoi on utilise les turbines à gaz ?

Nous utilisons une turbine à gaz pour plusieurs avantages :

- Les turbines à gaz sont d'une très grande disponibilité 48000 heures.
- Leur démarrage est assez rapide par rapport aux turbines à vapeur (15 à 30 minutes par rapport à 6 heures)
- Les turbines à gaz sont très compactes ce qui donne un bon choix pour les endroits distants (offshore).
- Régulation plus précise.
- Pénurie de défauts par rapport centrale diesel.
- Ami de l'environnement.

III.4 Historique de la turbine à gaz :

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

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

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

III.5 Eléments principaux de turbine à gaz TURBOMACH T70 :

Les différents systèmes, composantes et sections de la turbine à gaz TURBOMACH T70 qu'on peut les répartir comme suit :

CHAPITRE III

- La turbine, alimentée par un combustible gazeux ou bien liquide ;
- Le réducteur comme lien entre la turbine et l'alternateur ;
- L'alternateur ;
- Le système de contrôle-commande.

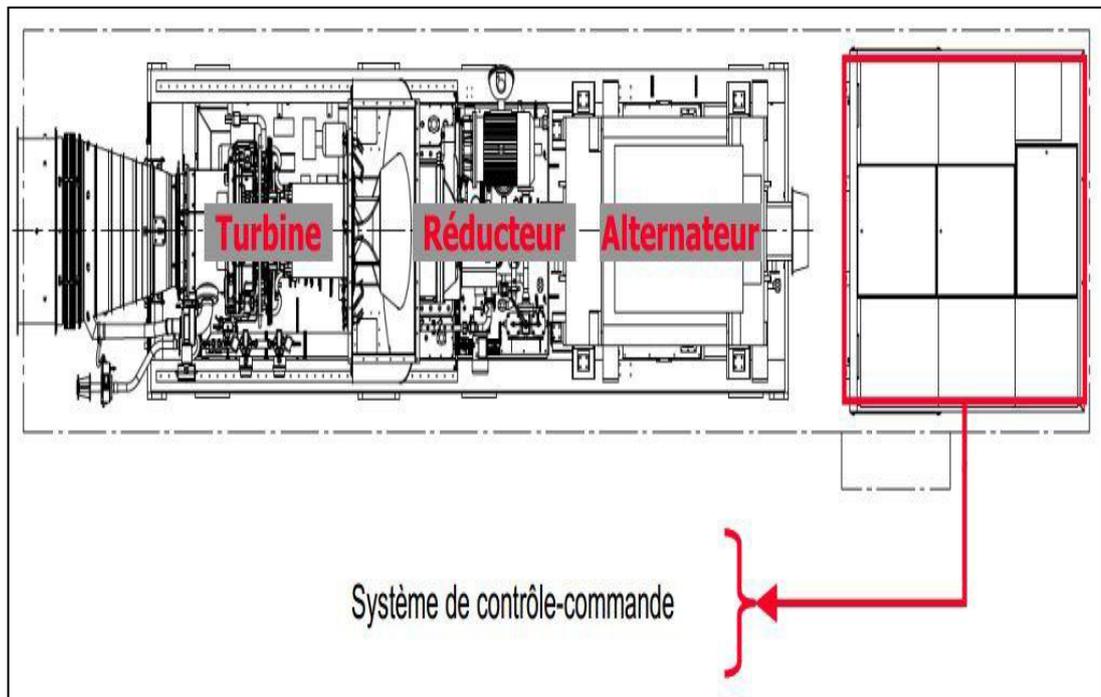


Figure III.2 : Schéma des éléments principaux d'une Turbine à gaz TURBOMACH T70. [18]

III.5.1 Turbine :

III.5.1.1 Compresseur :

Le compresseur axial est un équipement mécanique permettant de fournir la quantité d'air nécessaire pour la combustion des gaz dans la turbine (en fonction de la charge (fournir) et aussi d'alimenter en air divers circuits de refroidissement.

Deux types de compresseurs sont utilisés : radial et axial.

Les turbines à gaz SOLAR sont équipées du compresseur axial qui est utilisé pour des hauts débits (30-300 Nm³/s).

Le rapport des pressions (P_{out} / P_{in}) pour un étage se situe aux alentours de 1,25.

CHAPITRE III

II.5.1.2 Chambre de combustion :

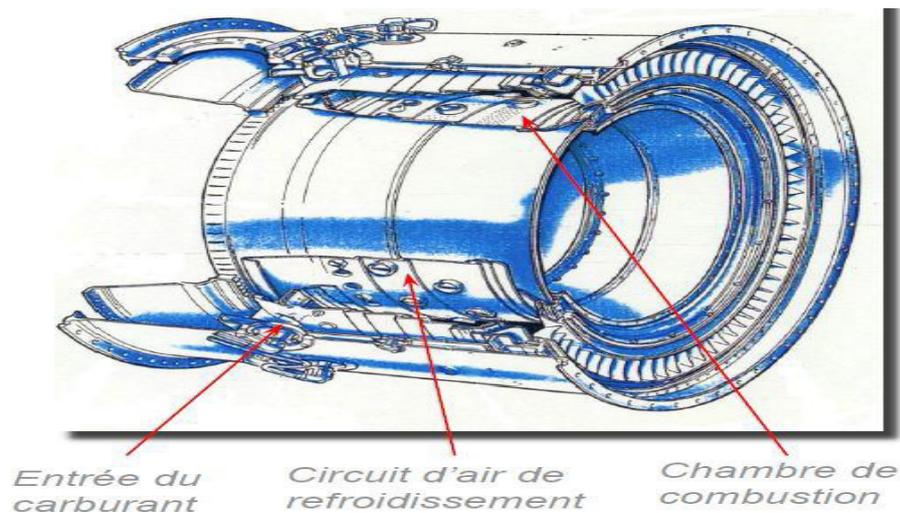
La chambre de combustion, où se mélangent air & combustible, la combustion augmente la température et le volume des gaz, à pression constante, la forme de la chambre de combustion est du type annulaire.

Rapport stœchiométrique air/carburant ~ 17 .

Rapport effectif air/carburant ~ 50

Air supplémentaire nécessaire pour refroidir les gaz de combustion et le corps de la turbine.

À cause de la très haute température de combustion (~ 2000 °C), la température des gaz est réduite par l'air du compresseur (air de dilution) afin d'obtenir une température admissible



pour les parties métalliques (aubes turbine et chambre de combustion) $800-1200$ °C.

Figure III.5: schéma de la chambre de combustion. [11]

II.5.1.3 Turbine de puissance :

La turbine de puissance, qui transforme une partie de l'énergie cinétique accumulée par les gaz d'échappement en énergie mécanique, transmise à l'alternateur et en partie au compresseur.

CHAPITRE III

A travers des étages de la turbine de puissance, les gaz de la combustion accélèrent et la pression diminue.

Dans la turbine, l'énergie potentielle des gaz est transformée en énergie mécanique.

Le total de la force aérodynamique travaillant sur les ailettes du rotor se transfère à l'arbre du rotor, qui tournera à la vitesse Ω .

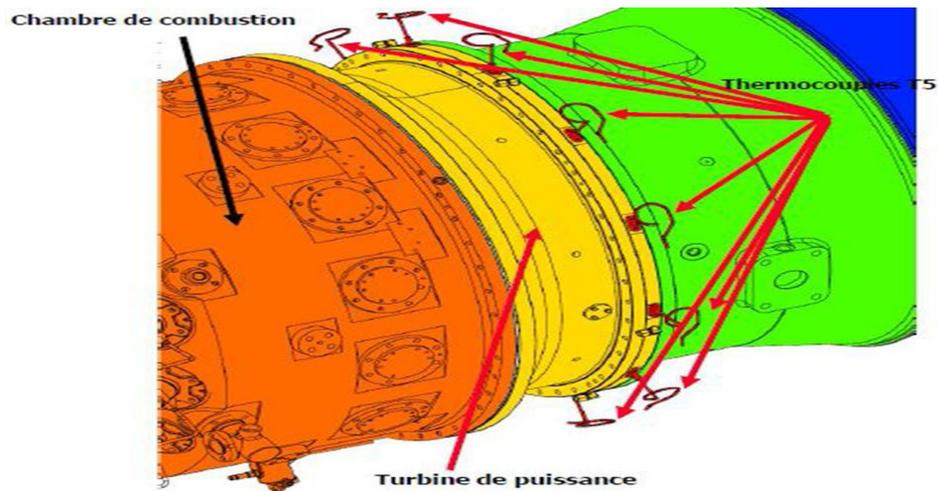


Figure III.6 : la turbine de puissance. [11]

III.5.2 Réducteur :

La fonction principale du réducteur est de réduire la vitesse de la turbine (11197 tr/min // 15143 tr/min) à celle du générateur (1500 tr/min pour 50 Hz).

Le réducteur est aussi équipé de trois connexions auxiliaires dont on utilise deux pour les moteurs électriques de démarrage (un seul pour T70) et la troisième pour la pompe mécanique de lubrification (pompe principale).

Deux transducteurs de vitesse (1) sont aussi montés sur le réducteur avec fonction de contrôle et de sécurité (survitesse)

Sur les turbines à un arbre, le réducteur est monté par bride au châssis du compresseur côté entrée d'air. Sur les turbines à deux arbres le réducteur est monté par bride à l'alternateur côté entraîné. L'unité est de type épicycloïdal en étoile, à deux étages, avec vitesse de sortie de 1500tr/min (50Hz). Le réducteur est capable de supporter temporairement des surcharges

CHAPITRE III

allant jusqu'à huit fois le couple nominal. La lubrification du réducteur s'effectue par le circuit principal d'huile de lubrification de la turbine.

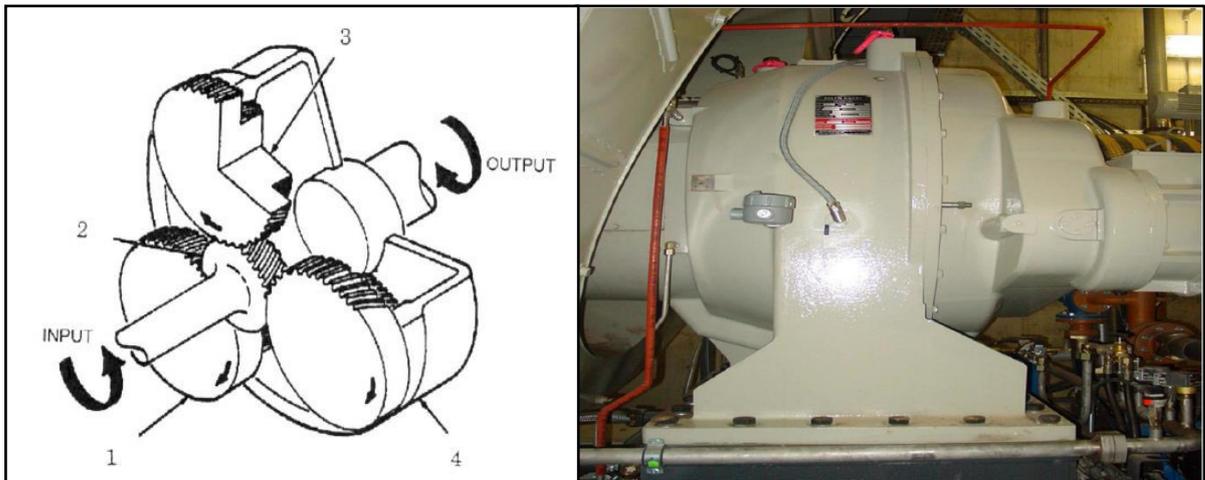


Figure III.7 : schéma de Le réducteur. [11]

- 1) Centre fixe 1^{er} étage étoile.
- 2) Deuxième étage étoile.
- 3) Pignon d'entrée.
- 4) Anneau 2^{ième} étage [11].

III.5.3 Alternateur :

- L'alternateur transforme la puissance mécanique de la turbine en puissance électrique.
- L'arbre de l'alternateur est couplé à l'arbre de basse vitesse du réducteur (1500 tour/min).
- C'est une machine du type brushless, donc sans balais ; elle est constituée d'un stator, d'un rotor (roue polaire, redresseur et induit de l'excitateur) et d'un inducteur de l'excitateur (3).
- Il est refroidi à l'air par un ventilateur (4) monté sur l'axe du rotor.
- Le bornier principal se trouve sur la partie haute (1). Il contient les connexions de puissance et les connexions des transformateurs de tension et de courant pour les mesures de contrôle et les protections.
- Un deuxième bornier (2) aussi sur la partie haute, contient les connexions de basse tension (références 100V, mesures courantes) [18].

CHAPITRE III



Figure III.8 : Vue extérieure de L'alternateur TURBOMACH T70.[18]

Tableau III.1 : Donnée technique de l'alternateur TURBOMACH T70.[18]

Constructeur	LEROY SOMER
Type	Synchrone, 4 pôles
Puissance nominale	El Goléa : 5 MW et 10 MW
Fréquence	50 Hz
Tension	5500 VAC / 11000 VAC
Vitesse	1500 tour/min

III.5.4 Système de contrôle-commande :

L'armoire de commande contient tous les équipements de commande et de réglage, les dispositifs de sécurité et de mesure ainsi que toutes les unités d'affichage nécessaires au fonctionnement de l'ensemble turbine à gaz.

Les opérations de commande et de réglage s'effectuent à partir d'un système de PC Industriel, qui pilote ou règle les composants via le bus.

Un dispositif de contrôle à sécurité intrinsèque est utilisé pour assurer les fonctions de surveillance de la sécurité.

L'armoire de commande contient également :

CHAPITRE III

- Les régulateurs de tension du générateur
- Les protections du générateur
- Les synchroniseurs
- Les convertisseurs de mesure.
- Transformateurs auxiliaires 400/230VAC

L'armoire repose principalement - en termes mécaniques - sur un bâti sans parois ni plafond. Ce bâti intègre un cadre de connexion autoporteur, composé d'éléments préfabriqués, sur lequel sont montés les appareils électriques. Tout câblage est installé au niveau arrière de l'armoire et son accès est possible à tout moment au côté. L'armoire de contrôle est alimentée par l'armoire de distribution 230VAC avec une tension de 230VAC et par l'armoire auxiliaire avec une tension 24VDC.

Le système de contrôle-commande se compose des tableaux et armoires suivantes :

- 1) Le tableau distribution 400 VAC avec son armoire.
- 2) L'armoire distribution 230 VAC et démarrage.
- 3) L'armoire variateur de fréquence.
- 4) Le tableau auxiliaire avec son armoire.
- 5) Le tableau de commande avec son armoire.
- 6) L'armoire des batteries 24 VDC [18].



Figure III.9 : Le tableau distribution
400 VAC. [18]



Figure III.10: L'armoire distribution
230 VAC et démarrage. [18]

CHAPITRE III



Figure III.11 : L'armoire variateur de fréquence. [18]



Figure III.12 : Le tableau auxiliaire. [18]



Figure III.13: tableau de commande. [18]



Figure III.14 : L'armoire des batteries 24 VDC. [18]

III.6 Package turbine :

Tableau III.2: Le package turbine. [18]

Composants principaux :	Circuits principaux :
Le compresseur, La chambre de combustion La turbine à gaz, Le réducteur, Le générateur	Système lubrification, Circuit gaz, Circuit diesel, Air comprimé

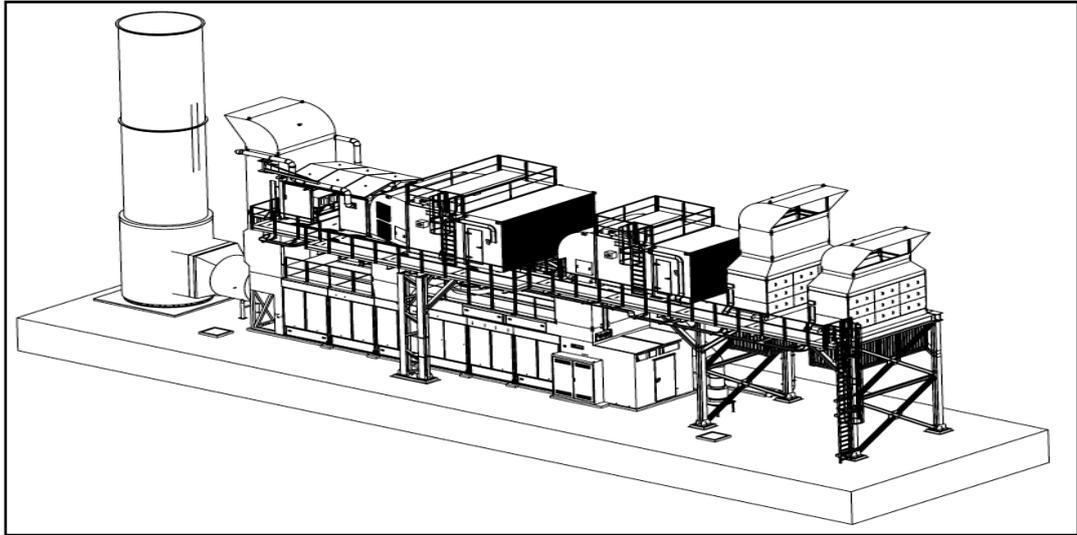


Figure III.15 : Schéma de package turbine. [18]

III.7 Caractéristiques de la turbine à gaz Taurus 70 :

Tableau III.3: Caractéristiques de la turbine à gaz Taurus 70. [19]

Type de turbine	TAURUS 70
Type de compresseur	Axial
No étages du compresseur	14
Rapport de compression	16 :1
No étages avec IGV	6
Chambre de combustion	Annulaire
No d'injecteurs standard	14
No d'injecteurs SoLoNOx	14
No étages turbine	3
Vitesse turbine	11215 tr/mn
Type de palier radial	Hydrodynamiques, segments orientables
Type de palier axial	Hydrodynamiques, segments orientables

CHAPITRE III

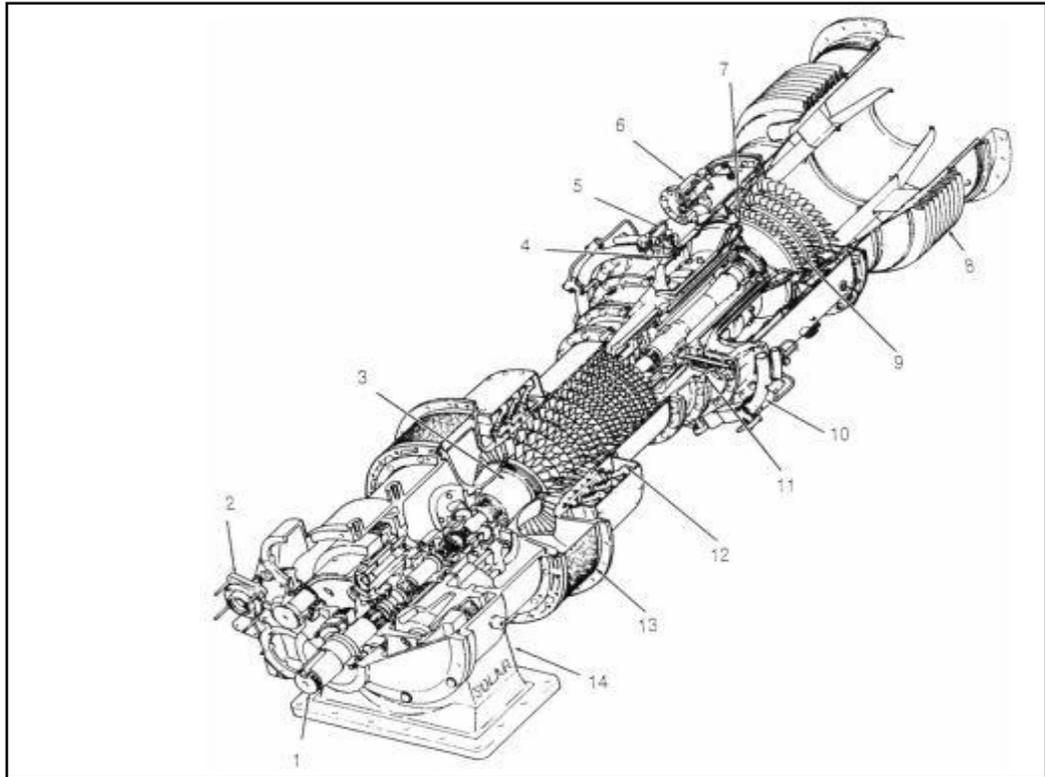


Figure III.16 : Vue de coupe d'une turbine. [19]

- 1 • Arbre de puissance ;
- 2 • Bride accessoire ;
- 3 • Rotor compresseur ;
- 4 • Injecteur de carburant ;
- 5 • Châssis combusteurs ;
- 6 • Vanne by-pass ;
- 7 • Carter turbine ;
- 8 • Échappements ;
- 9 • Rotor turbine ;
- 10 • Anneau carburant ;
- 14 • Réducteur ;
- 11 • Diffuseur compresseur ;
- 12 • Aubes compr.variable IGV ;
- 13 • Entrée d'air.

CHAPITRE III

III.8 Différents circuits de la turbine :

La turbine contient un groupe de circuits qui contribuent au fonctionnement de la turbine et garantissent de bonnes performances. Quelles sont les différents circuits présents pour le fonctionnement de la Turbine ?

Il y a 6 circuits principaux :

- Le circuit de lubrification / d'huile.
- Le circuit de carburant (gaz / diesel).
- Le circuit de lavage.
- Le circuit d'air.
- Le circuit d'eau.
- Le circuit extinction (CO2) [20].

Existe-t-il des circuits avec plusieurs fonctions ? Si oui, citez lesquels ?

CCircuit de lubrification / d'huile :

- Sert essentiellement à la lubrification et au refroidissement des paliers de la turbine, du réducteur ainsi que l'alternateur.
- Ce même circuit est aussi utilisé pour le soulèvement de l'arbre alternateur.
- Sur la T 70 il permet le mouvement des actuateurs IGV et Bleed [20].

Circuit de carburant :

- Sert essentiellement à l'alimentation en carburant de la turbine afin d'apporter l'énergie chimique nécessaire en fonction des différents régimes de la turbine en permettant aussi l'allumage ainsi que son l'accélération.
- Il peut être configuré pour différentes sortes de carburant (dans notre cas gaz et liquide-diesel) [20].

Circuit de lavage :

C'est un circuit simple qui sert au lavage à chaud et à froid du compresseur de la machine .

CHAPITRE III

Circuit d'air :

Il effectue plusieurs fonctions :

- Piloter les clapets d'air caisson.
- Piloter le système de lavage.
- Piloter l'ensemble des électrovannes du circuit de carburant.
- Piloter la vanne de régulation de la pression d'huile
- Vaporiser le diesel en phase d'allumage – accélération.
- Décolmater les filtres air comburante sales (air industrielle) [20].

Circuit extinction (CO2) :

C'est un circuit qui sert à projeter du gaz neutre (CO2) dans le caisson en cas de détection d'incendie.

Le circuit d'eau :

C'est un circuit qui sert à nettoyer la ligne carburant diesel après avoir effectué un transfert de carburant de diesel vers le gaz.

III.9 Séquences :

III.9.1 Différent états du système :

• System Off

Le package est au repos, le fieldbus n'est pas alimenté donc la plupart des composants sont éteints [21].

• System On

Le fieldbus est alimenté et tous les composants du package sont donc alimentés, si aucune alarme n'est présente (prêt au démarrage) [21].

• Prêt à démarrer

Normalement état après le « System on » si aucune alarme n'est présente [21].

CHAPITRE III

- **Démarrage (Start)**

Séquence complexe qui comprend Crank , étanchéité vannes gaz, balayage gaine échappement, allumage, accélération [21].

- **Prêt à la charge**

La turbine est prête à être synchronisée et donc à produire électricité [21].

- **En charge**

Activé une fois synchronisé et couplé [21].

- **Crank**

Montée en vitesse jusqu'à 22% de la vitesse nominale Turbine. Pas de commande d'allumage [21].

III.9.2 Différent arrêts du système :

- **Stop**

Arrêt normale de la machine.

- **Shutdown**

Déclenchement / arrêt d'urgence dû à une alarme

- Le système de sécurité coupe le combustible (vannes 1aire et 2ndaire)

- **Cooldown**

Arrêt normale de la machine dû à une alarme.

III.9.3 Alarmes :

Le système de contrôle prévoit trois différents types d'alarmes :

- **WARNING**

CHAPITRE III

Préalarme (Vert), il s'agit d'un avertissement, donc pas d'arrêt de la machine

- Normalement un warning précède un shutdown.

• SHUTDOWN

Arrêt d'urgence (Rouge), une condition qui peut mettre en danger l'homme ou la machine s'est présentée.

- Le système de sécurité coupe le combustible (vannes 1aire et 2ndaire)

Il faut identifier le problème et le résoudre avant de redémarrer la machine !

• ALARM

Arrêt normale de la machine dû à une alarme, une condition qui ne permet pas de garantir le bon fonctionnement de la machine est présente (ex. défaut chargeur de batteries, delta P filtre huile après 24H) [21].

III.10 Principe de fonctionnement de la turbine à gaz Taurus 70 :

Le groupe thermique à gaz est constitué par une turbine à gaz à un seul arbre, entraînant un alternateur. Dans la turbine à gaz, qui est considérée comme un moteur à combustion interne, la combustion d'un mélange air- combustible est utilisée pour produire la puissance sur l'arbre nécessaire à l'entraînement du compresseur, certains auxiliaires et principalement l'alternateur.

La turbine à gaz est autonome pour son démarrage, elle est donc équipée d'un dispositif de lancement qui est le plus souvent un moteur électrique ou un moteur diesel.

Au démarrage le moteur de lancement transmet son couple à la ligne d'arbre à travers un convertisseur de couple (réducteur de vitesse 200Hz-50Hz), le compresseur est entraîné c.-à-d. comprime l'air filtré vers la chambre de combustion pour augmenter la puissance de l'air comprimé déjà qui entraîné la turbine.

Le combustible utilisé peut-être liquide ou gazeux. Le combustible gazeux est utilisé comme combustible principal et le combustible liquide comme combustible de secours.

CHAPITRE III

Le mélange combustible et l'air comburant est allumé par des bougies d'allumage dans les chambres de combustion, ramenant sa température à plus de 1000°C. Ce mélange à sa sortie des chambres de combustion, entre directement dans la turbine pour la faire tourner. Cette procédure permet de transformer l'énergie chimique en énergie calorifique dans les chambres de combustion, puis en énergie mécanique dans la turbine et enfin en énergie électrique dans l'alternateur. [11]

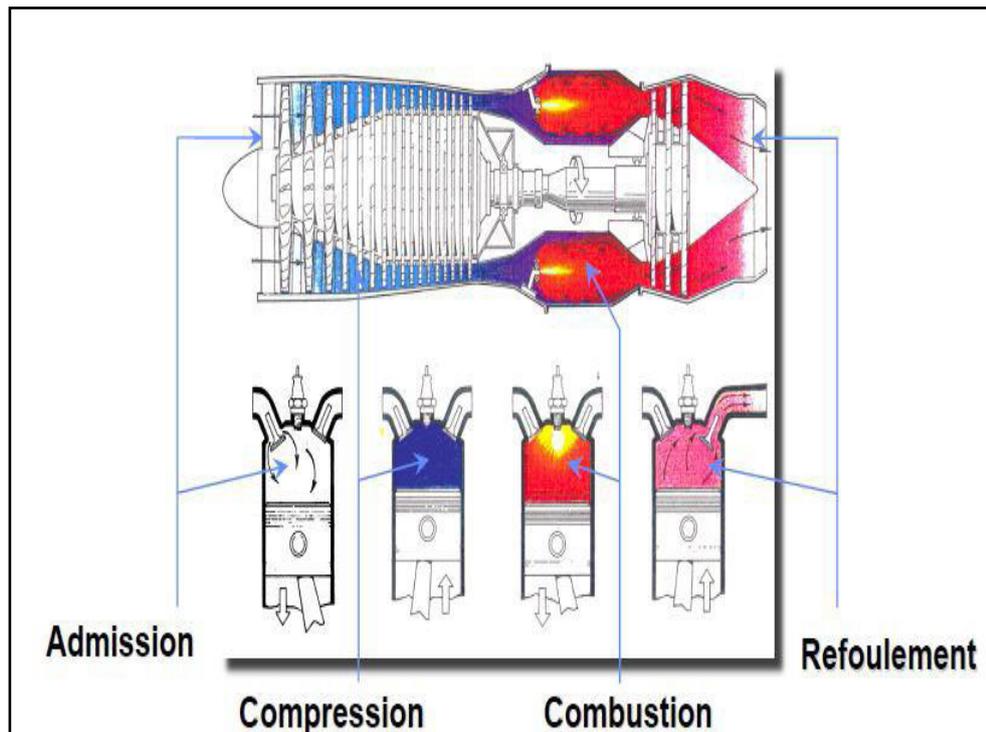


Figure III.17 : Coupe longitudinale d'une turbine à gaz - Principaux organes. [11]

III.11 Maintenance appliquée sur les turbines à gaz (Taurus 70) :

La turbine est exposée à des contraintes thermiques, mécaniques et vibratoires extrêmement élevées, engendrées par son fonctionnement. Pendant la durée de vie du moteur, le fonctionnement, les démarrages, le carburant, et les conditions ambiantes peuvent entraîner des altérations du système [22].

Pour maximiser la durée de vie, la puissance et le rendement, et pour assurer un fonctionnement sans danger, il est impératif de procéder à l'entretien comme l'indique le tableau ci-dessous :

CHAPITRE III

Tableau III.4: Entretien appliquée sur les turbines à gaz (Taurus 70). [22]

NIVEAU		I	A	B	IV
Nature de L'intervention		Entretien Opérationnel	Entretien Intermédiaire	Entretien Principal	Révision
Mois	1	X			Toutes les 30 000 A 35'000 Heures de Fonctionnement
	2	X			
	3	X			
	4	X			
	5	X			
	6	X	X		
	7	X			
	8	X			
	9	X			
	10	X			
	11	X			
	12	X		X	
Durée de l'opération.		3 h	24 h	48 h	
Temp d'immobilisation De la turbine		0 jour	3 jours	6 jours	8 jours

Remarques :

Le temps nécessaire au refroidissement de la turbine, au lavage à l'eau du compresseur et autres opérations mineures ne figurent pas dans le programme ci-dessus. Ce programme peut varier selon les différentes exigences de la clientèle, les diverses conditions ambiantes et de fonctionnement, et les contrats individuels d'entretien [22].

CHAPITRE III

III.11.1 Expliquer les niveaux d'interventions d'entretien :

Tableau III.5: les niveaux d'interventions d'entretien : [22]

NIVEAU I :	Cette intervention sera assurée par les techniciens de TURBOMACH, secondé par le personnel du client recevant ainsi une formation. À partir de la deuxième année, l'entretien au NIVEAU I sera assuré par le CLIENT.
NIVEAU A :	Cette intervention sera assurée par les techniciens de TURBOMACH ou, en accord avec TURBOMACH, par des techniciens d'entretien locaux.
NIVEAU B :	Cette intervention sera assurée par les techniciens de TURBOMACH ou, en accord avec TURBOMACH, par des techniciens d'entretien locaux.
NIVEAU IV :	Cette intervention sera assurée par les techniciens de TURBOMACH ou, en accord avec TURBOMACH, par des techniciens d'entretien locaux. La révision nécessite plus de 60 heures, mais le moteur pouvant être remplacé par une turbine déjà révisée, seul le temps de dépose et dépose doit être pris en compte.

III.11.2 Description des interventions d'entretien :

III.11.2.1 Visite d'entretien opérationnel (niveau I)

Généralités :

- Enregistrer les données opérationnelles de la turbine indiquées par le système de commande.
- Enregistrer les paramètres opérationnels du système sur site.

Vérifications extérieures :

- Vérifier l'absence de fuites sur les tuyauteries extérieures de carburant gazeux
- Vérifier l'absence de fuites sur les tuyauteries extérieures de carburant liquide
- Vérifier l'absence de fuites sur les tuyauteries extérieures à huile

CHAPITRE III

- Vérifier l'absence de fuites sur les tuyauteries externes d'eau

Turbine et équipements auxiliaires :

- Vérifier le niveau du réservoir d'huile de lubrification.
- Vérifier l'absence de fuites sur l'ensemble des tuyauteries intérieures.
- Vérifier l'absence de fuites d'air, d'huile, de gaz et de carburant liquide (si installé) sur le corps de la turbine.
- Vérifier le filtre de l'entrée d'air de combustion (conditionnement, nettoyage).
- Vérifier le filtre de l'entrée d'air de l'enceinte acoustique (conditionnement, nettoyage).
- Vérifier minutieusement l'ensemble du moteur, en s'assurant qu'il ne présente aucune condition de fonctionnement inhabituelle (décoloration, criques, frottement de câbles et de fils, température élevée dans le caisson, etc.)
- Ecouter le bruit émis et mentionner tout bruit inhabituel.
- Vérifier que les refroidisseurs d'huile de lubrification ne sont ni souillés ni endommagés, nettoyer si nécessaire.
- Vérifier que le filtre électrostatique de vapeur d'huile fonctionne correctement, aucune émission de vapeur ne doit apparaître à la sortie du filtre [22].

Alternateur :

- Vérification du niveau d'huile de lubrification du palier, quand le générateur est en service.
- Vérifier la propreté générale [22].

Armoires de commande :

- Vérifier que les batteries de DC et les chargeurs fonctionnent correctement d'entretien.
- Corriger les anomalies et, dans la mesure où les conditions de fonctionnement le permettent, procéder à tout réglage ou réparation sur site afin de garantir un rendement et un fonctionnement normaux [22].

CHAPITRE III

III.11.2 Visite d'entretien intermédiaire (niveau A) :

Le contrôle de niveau A comprend les mêmes opérations que celui de niveau I, ainsi que les vérifications suivantes :

Remplacement des pièces suivantes :

- Filtre d'huile principal.
- Joint torique du filtre d'huile principal.
- Filtre d'huile de lubrification à haute pression.
- Filtre à gaz.
- Bougie d'allumage.
- Détecteur de fuite de gaz.
- Courroie de transmission du filtre électrostatique.

Turbine et accessoires :

- Vérifier l'ensemble des éléments électriques, ventilateurs, pompes, etc.
- Vérifier que les pompes à huile de lubrification fonctionnent correctement.
- Vérifier que l'indicateur de niveau du réservoir d'huile de lubrification fonctionne correctement.
- Vérifier la qualité de l'air des instruments.
- Prélever un échantillon d'huile de lubrification pour analyse en laboratoire
- Vérifier électriquement l'ensemble des capteurs de vitesse de la turbine.
- Vérifier le fonctionnement de la vanne de décharge.
- Contrôler visuellement le diffuseur de sortie.

Armoires de commande :

- Vérifier les planches à bornes et les nettoyer (si nécessaire).
- Vérifier l'état des contacts et des fixations.
- Vérifier le bon fonctionnement du système de détection des gaz.
- Vérifier le bon fonctionnement du système de surveillance et d'extinction d'incendie.
- Vérifier le bon fonctionnement du contrôle de vitesse.
- Vérifier le bon fonctionnement du contrôle de la température T5

CHAPITRE III

- Vérifier le niveau du liquide des batteries DC.

Essai :

- Mesurer la régulation du carburant au démarrage.
- Enregistrer les laps de temps nécessaires pour atteindre l'état "prêt à la charge" et pour la synchronisation.
- Vérifier le fonctionnement de la limitation de puissance active (kW).
- Vérifier le fonctionnement de la limitation de température T5.
- Vérifier le fonctionnement du limiteur de la température d'échappement T7 (si installé).
- Vérifier le fonctionnement de la mesure des vibrations en charge et à vide.
- Protocole d'entretien.

III.11.2.3 Visite d'entretien principal (niveau B) :

Le contrôle de niveau B comprend les mêmes opérations que celui du niveau A ainsi que les vérifications ci-après :

Turbine et accessoires :

- Contrôler à l'endoscope le compresseur, la chambre de combustion et la turbine.
- Démontez et vérifiez les injecteurs et les éléments de la chambre de combustion.
- Contrôler à l'endoscope les dentures de réducteur.
- Vérifier et calibrer les jauges.
- Démontez, nettoyez et remontez les vannes d'arrêt de gaz principaux et secondaires.
- Vérifier que la vanne de réglage est solidement accouplée et fonctionne correctement.
- Vérifier le joint frontal du compresseur d'alimentation ainsi que le débit d'huile dans la vidange de la chambre de combustion lorsque la pompe d'huile de vidange est en fonctionnement.
- Vérifier les thermocouples de la température d'échappement, les remplacer si nécessaire.
- Vérifier les électrovannes.
- Vérifier les transmetteurs de pression et de température.
- Vérifier l'état des cartouches du filtre à air de combustion et en remplacer certains éléments si nécessaire (éléments installés par le client).
- Vérifier la séquence de nettoyage du filtre à air de combustion (si installé).

CHAPITRE III

Alternateur et accouplement :

- Vérifier le serrage des connexions électriques
- Vérifier l'excitateur
- Vérifier les diodes tournantes
- Vérifier les boulons de serrage sur la carcasse alternateur
- Vérifier l'alignement entre la turbine et le réducteur

Armoires de commande :

- Vérifier l'ouverture et la fermeture du disjoncteur principal
- Vérifier les séquences et le déroulement du programme de contrôle
- Nettoyage
- Serrage de l'ensemble des connexions
- Essai des relais

III.11.2.4 Révision (niveau IV) :

Remplacement du bloc de puissance turbine :

- Transporter la turbine de remplacement sur site.
- Echanger la turbine du client avec la turbine de remplacement.

Opérations d'ordre général :

Dans le cadre de cette révision, d'autres éléments peuvent également être soumis à une intervention :

- Les paliers de l'alternateur.
- Nettoyer et lubrifier le rotor de l'alternateur.
- Remplacer ou réviser les moteurs AC auxiliaires.
- Remplacer les balais sur les moteurs DC.
- Remplacer les batteries, etc [22].

CHAPITRE III

ATTENTION !

L'entretien concerne des éléments vitaux de la turbine à gaz. Toute manipulation incorrecte peut entraîner des dommages ou une grave défaillance du moteur.

Chaque intervention doit être effectuée par un personnel qualifié.

II.12 Conclusion :

La description dans ce chapitre concerne le type de turbine à gaz Taurus 70. Les caractéristiques de la turbine et son fonctionnement sont également abordés, ainsi que le niveau de maintenance qui leur est associé, ainsi que les éléments impliqués dans la maintenance préventive, la maintenance corrective et périodique.

CHAPITRE

IV :

**Etude et application de la
méthodes ABC et AMDEC
sur la turbine
TURBOMACH T70**

CHAPITRE IV

IV.1 Introduction :

Dans le chapitre 02, nous avons défini la maintenance et expliqué les deux méthodes d'analyse de fiabilité AMDEC et ABC, dans cette partie de notre projet nous allons les appliquer les deux méthodes à l'historique des TAG TURBOMACH T70 pour déterminer les éléments les plus touchés par les pannes, afin de développer un nouveau plan de procédures de maintenance et des recommandations qui aident à faciliter son application au mécanisme de production.

IV.2 Historiques des pannes de la turbine à gaz TURBOMACH T70 :

Avant de commencer l'application des méthodes, la décomposition suivante peut être adoptée dans la suite de nos travaux.

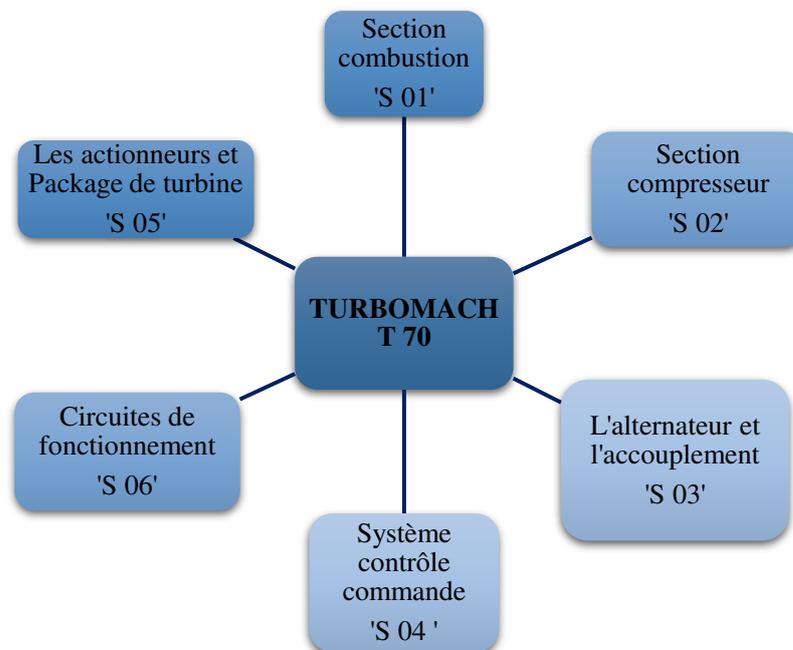


Figure IV.1 : Décomposition des systèmes de TURBOMACH T70.

Dans la période de notre présence dans la centrale turbine d'el goléa pendant le stage pratique, nous avons collecté l'historique des données sur les pannes durant les (04) quarts dernières années (2015-2019), que nous avons organisées et analysées dans le tableau suivant :

CHAPITRE IV

Tableau IV.1 : Historique des pannes de TURBOMACH T70.

Les sous systèmes Les turbines	S 01	S 02	S 03	S 04	S 05	S 06	Somme
TAG 01	13	11	4	19	50	38	135
TAG 02	6	6	4	16	70	40	142
TAG 03	2	8	3	15	49	51	128
TAG 04	2	4	2	6	16	19	49
TAG 05	4	16	6	25	55	37	143
Somme	27	45	19	81	240	185	597

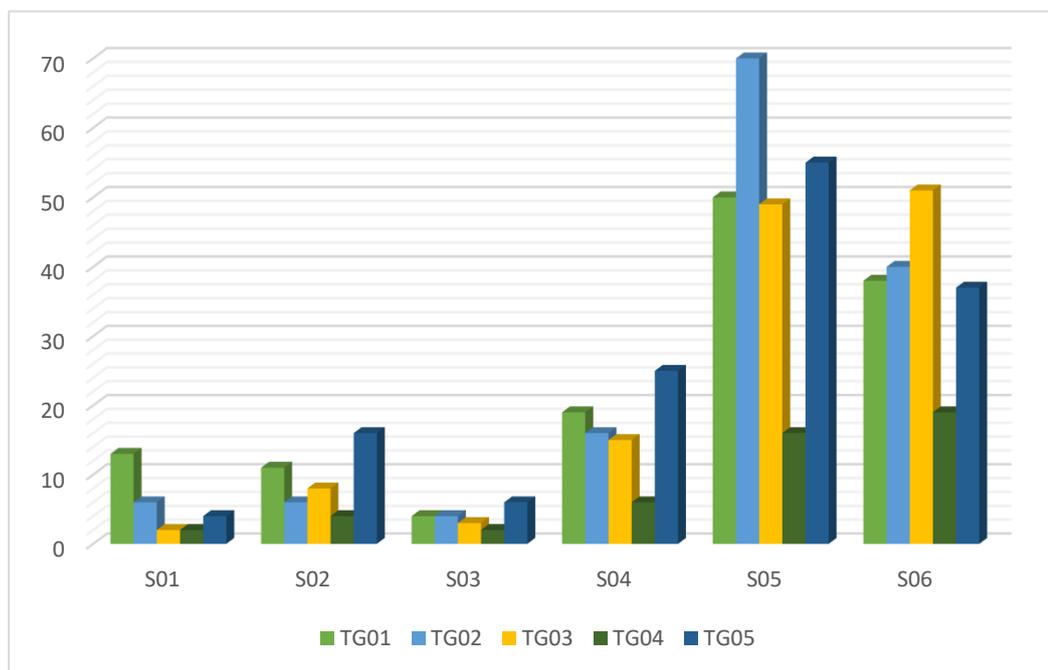


Figure IV.2 : Organigramme d'historique des pannes de TURBOMACH T70

IV.3 Application pratique de la méthode ABC :

Nous utilisons dans ce qui suit la méthode ABC pour étudier la distribution des pannes de la station sur l'ensemble de ses turbines.

IV.3.1 Diagramme PARETO :

L'application de la méthode ABC consiste à classer les pannes de la turbine d'une façon décroissante, puis calculer ses cumule et pourcentage.

CHAPITRE IV

Tableau IV.2 : Résultats du calcul ABC.

Sous- Systèmes	Pannes	Classement décroissant des pannes		Cumule de pannes	Cumule de pannes en %
S 01	27	S 05	240	240	40,20101
S 02	45	S 06	185	425	71,18928
S 03	19	S 04	81	506	84,75712
S 04	81	S 02	45	551	92,29481
S 05	240	S 01	27	578	96,81742
S 06	185	S 03	19	597	100

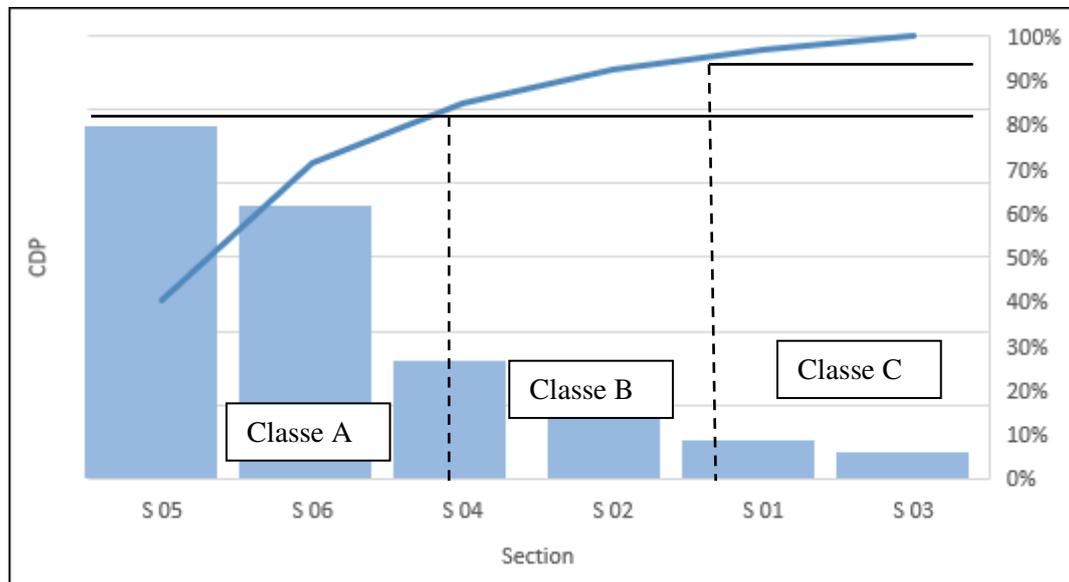


Figure IV.3 : La courbe ABC

IV.3.2 Interprétation des résultats et action d'amélioration :

Dans ce travail notre étude est basé sur l'analyse de la concentration des pannes selon les sous-systèmes pour essayer d'étudier les causes et les effets, puis proposer des solutions pour améliorer la fiabilité des turbines.

On observe que la courbe ABC contient trois zones d'où :

CHAPITRE IV

Zone "A" : les 84,75% des pannes représentent :

1. Les actionneurs et Package de turbine.
2. Circuits de fonctionnement.
3. Système contrôle commande.

Cette zone contient les éléments les plus défaillant (les pompes, les filtres d'huiles, les filtres électrostatiques, le compteur d'énergie,), ils nécessitent une intervention systématique a un intervalle de temps bien précisé.

Zone "B" : les 12.06% des pannes représentent deux sous-systèmes :

1. Section combustion
2. Section compresseur

La maintenance appliquer dans la zone B est la maintenance conditionnelle.

Zone "C" : les 3% des pannes représentent sous-système 1 (l'alternateur et l'accouplement).

La maintenance appliquer dans la zone C est la maintenance corrective.

IV.4 Application de la démarche AMDEC :

La turbine comme équipement, son exploitation nous a donné des pannes répartis selon les sous-systèmes mentionnés précédemment.

Dans l'étude suivante, nous nous appuyons sur AMDEC-Machine pour améliorer la disponibilité et la sécurité, et en priorité la fiabilité de turbine.

IV.4.1 Décomposition fonctionnellement le système :

La première étape on a décomposé fonctionnellement le système

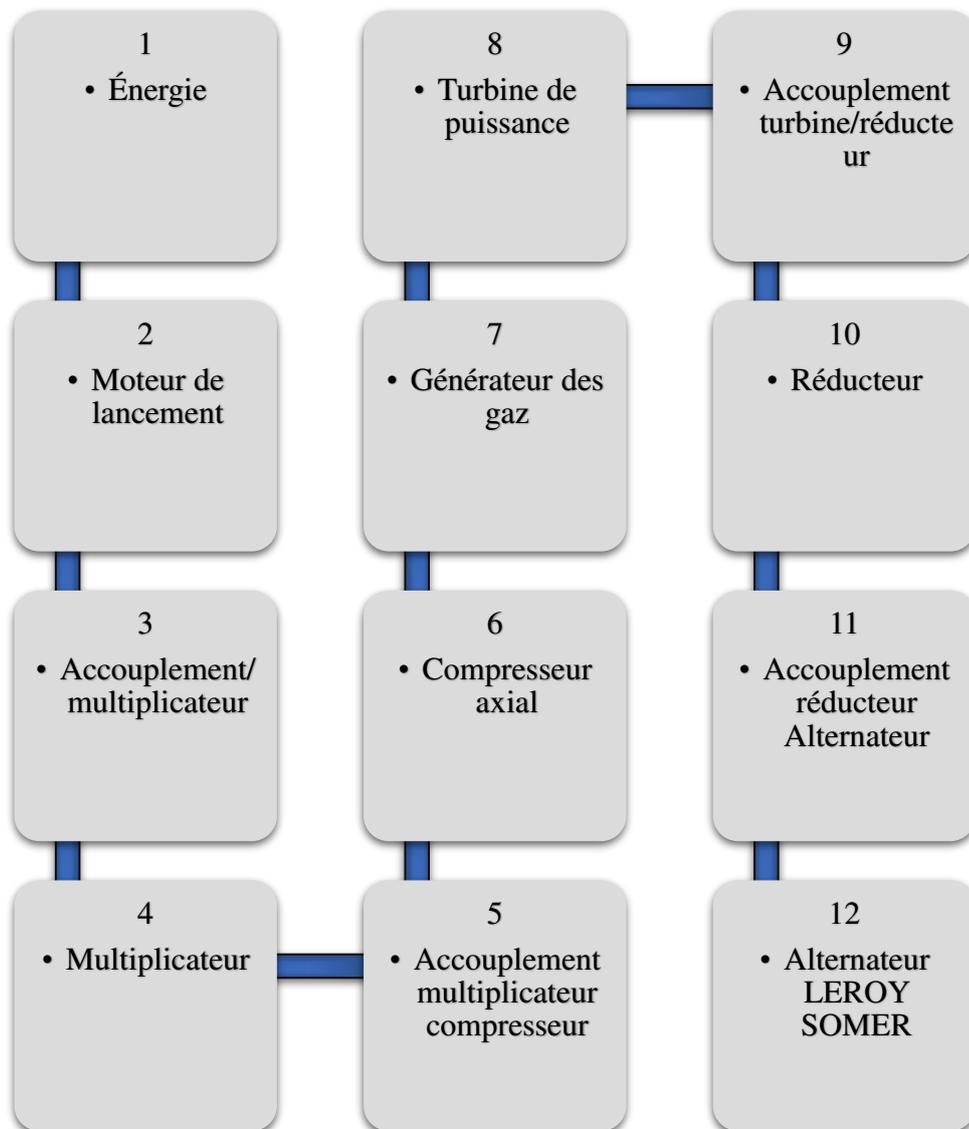


Figure IV.4: Décomposition fonctionnelle du système.

IV.4.2 Décomposition structurelle :

L'analyse fonctionnelle de la turbine nous a permis de découper la turbine en six sous-systèmes :

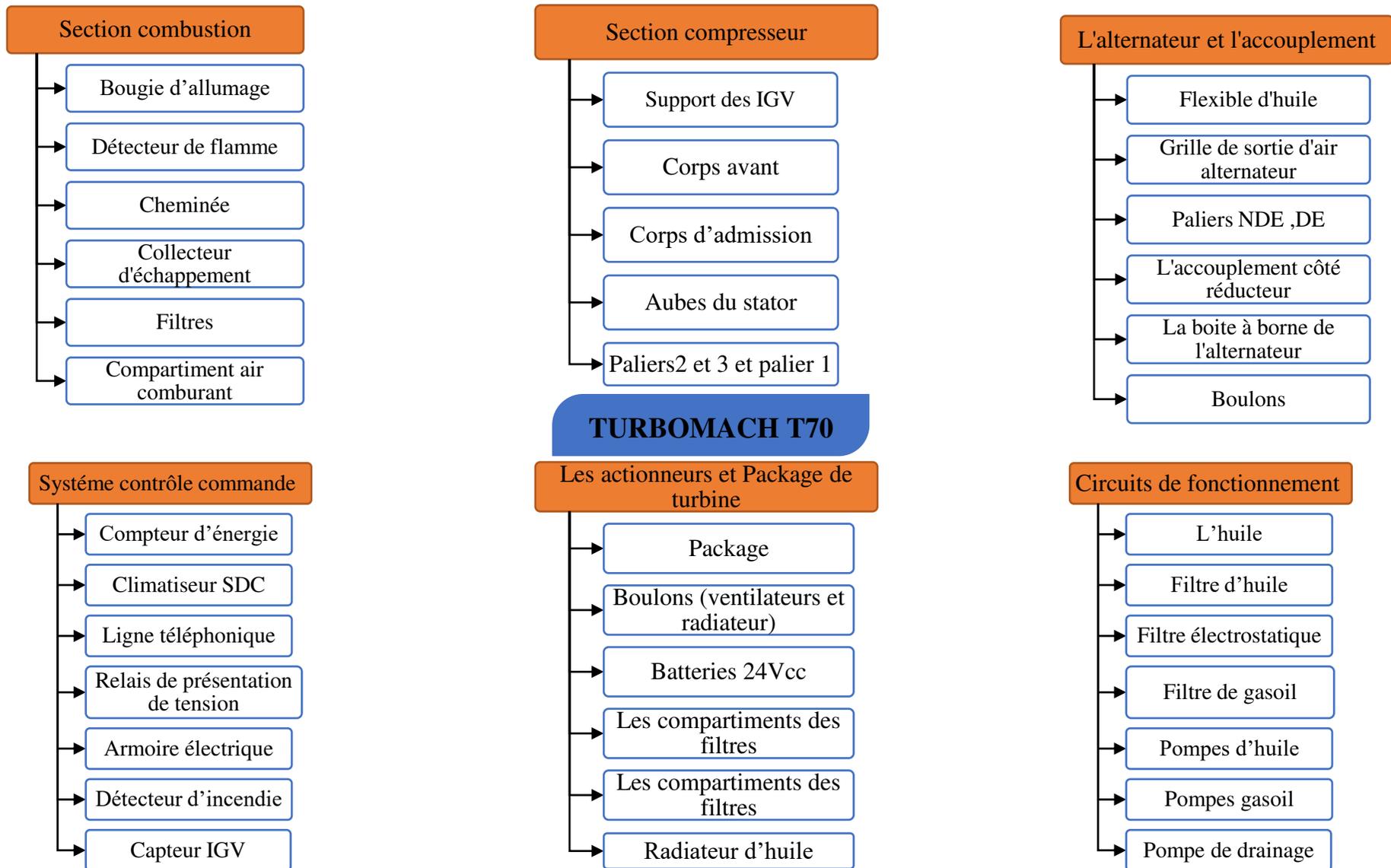


Figure IV.5 : Décomposition structurelle.

CHAPITRE IV

Après avoir fini la décomposition structurelle et fonctionnelle de la turbine à gaz, nous allons maintenant appliquer l'AMDEC pour chaque élément de cette turbine :

➤ Sous-système 1 : Section combustion :

Tableau IV.3 : Analyse de Section combustion par la méthode AMDEC

Date de l'analyse: 02/02/2020	ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ			
	Ensemble : turbine à gaz		sous-système 1 :Section combustion.	
Composant	Fonction	Mode	Cause	Effet
Bougie d'allumage	- Déclencher la combustion du mélange (fuel gaz - L'air de compresseur axial)	- Grippage - Eraillure	- Echauffement local	- Pas de combustion
Détecteur de flamme	Envoyer l'indication de présence ou absence de flamme au système de commande	- Défectueux	- Vibrations - Echauffement local - Chocs	-La turbine ne démarre pas
Cheminée	- Dégagement des gaz brulant - La réduction du bruits	- Blocage	- Poussière - Etat de surface - chocs - mauvais traitement thermique	- Mauvis filtration des gaz
Collecteur d'échappement	Il est collecte tous les gaz brules de la turbine à gaz verre l'échappement	-Fissures - Echauffement	- Haut température	- Mauvais collecte des gaz brule
Compartiment air comburant	Refroidissement de l'air entrée de la chambre de combustion.	Colmatage	Poussières	- Mauvais fonctionnement du refroidisseur évaporatif
Filtres	Filtre d'air comburant	Colmatage	Les impuretés	Risque de pollution

CHAPITRE IV

➤ Sous-système 2 : Section compresseur

Tableau IV.4 : Analyse de Section compresseur par la méthode AMDEC

Date de l'analyse: 02/02/2020	ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ			
	Ensemble : turbine à gaz		sous-système 2 : Section compresseur	
Composant	Fonction	Mode	Cause	Effet
Support des IGV	Permet de portée des aubes des IGV	- Blocage - Coincement	- Mauvaise filtration d'air - Mauvais fonctionnement de système hydraulique	- Pompage de compresseur
Corps avant	Transférer les charges des 14 premiers étages du stator du compresseur et fixation les aubes du stator	- Cassure - Fissure	- Fatigue - Mauvaise conception	- Influence mineure sur la fiabilité - Pompage de compresseur
Corps d'admission	Diriger l'air de manière uniforme dans le compresseur	- Usure - Rupture	- Corrosion	Mauvaise filtration d'air
Aubes du stator	Guider l'air pour pénétrer dans les étages successifs du compresseur axial	- Déformation - Corrosion - Erosion	- Mauvaise filtration d'air	- Vibration - Détériorations des aubes
Paliers 2 et 3 et palier 1	Soutienne le rotor du compresseur/turbine de haute pression et assurer le graissage	- Usure - Cassure	- Fatigue - Mauvais alignement - Mauvais graissage	- Vibration - Echauffement - Blocage de rotor HP

CHAPITRE IV

➤ Sous-système 3 : L'alternateur et l'accouplement.

Tableau IV.5 : Analyse de sous-système 3 par la méthode AMDEC

Date de l'analyse: 02/02/2020	ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ			
	Ensemble : turbine à gaz		sous-système 3 : L'alternateur et l'accouplement	
Composant	Fonction	Mode	Cause	Effet
Flexible d'huile	Assurer la circulation d'huile	-Bouchage -Fuite	-Mauvais serrage -Fissure	-Pert de débit d'huile et de pression
Grille de sortie d'air alternateur	Diriger l'air chaud à l'extérieur de l'alternateur	- Cassure - Bouchage	- Poussières - Chocs	-Mauvais fonctionnement - Vibration
Boulons	Assurer la fixation	- Desserrage - Cassure	- Chocs - Fatigue	Vibration
Paliers NDE et DE	Basé l'arbre de la turbine et assurer le graissage	- Usure - Cassure	- Fatigue - Vibration - Mauvais alignement	- Echauffement - Vibration
L'accouplement côté réducteur	Transmettre la puissance de la turbine au réducteur	-Rupture - Echauffement	- Desserrage des vis d'assemblage -Surcharge - Fatigue - Désalignement	- Mauvaise transmission - Usure des paliers - Usure des dents d'engrenages - Vibrations
La boîte à borne de l'alternateur	Il contient les connexions de puissance et les connexions des transformateurs de tension et de courant et les connexions de basse tension (références 100V) - Assurer les mesures de contrôle et les	- Echauffement - Court-circuit - Perte de performance	- Chaleur - Mauvais serrage	- Mauvais connexion avec système contrôle commande -Mauvais protection

CHAPITRE IV

	protections et mesures courant,			
--	---------------------------------	--	--	--

➤ **Sous-système 4 : Système contrôle commande.**

Tableau IV.6 : Analyse de sous-système 4 par la méthode AMDEC

Date de l'analyse: 02/02/2020	ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ			
	Ensemble : turbine à gaz		sous-système 4 : Système contrôle commande.	
Composant	Fonction	Mode	Cause	Effet
Compteur d'énergie	Prendre les informations de TC et TT pour calculer la puissance produite	Blocage	Mauvaise étalonnage	Mauvaise Calcule
Climatiseur SDC	Assurer le refroidissement de SDC et leur composants	Pert de performance	- Fatigue - Poussière	Pas de fonctionnement
Ligne téléphonique	Assurer la communication entre SDC, la salle de commande et les agents de maintenance	Coupeur	Travaux externes	Pas de communication
Relais de présentation de tension	Protection contre la chute de tension	- Défectueux -Court-circuit	- Chute de tension - Fatigue	- Mauvais protection - Pas de fonctionnement
Armoire électrique	Regroupée et assemblée les tableaux des distributions, les auxiliaires de commandes, les armoires de variateurs de fréquence et des batteries	- Coincement - Desserrage	- Poussières - Mauvais Desserrage	- Mauvais fonctionnement
Détecteur d'incendie	- Déceler les incendies le plus tôt possible	- Pas de connexion avec système automate	- Mauvaise étalonnage	- Mauvaise détection

CHAPITRE IV

		- La difficulté de détecter un incendie		
Capteur IGV	Donner la position des IGV au système automate	Blocage	Poussier Haut température	- Mauvais Affichage Pas de démarrage

➤ **Sous-système 5 : Circuits de fonctionnement.**

Tableau IV.7 : Analyse de sous-système 5 par la méthode AMDEC

Date de l'analyse: 02/02/2020	ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ			
	Ensemble : turbine à gaz		sous-système 5: Circuits fonctionnement.	
Composant	Fonction	Mode	Cause	Effet
L'huile	- Lubrification - Refroidissement	- Dégradation de leurs propriétés - Pert d'huile	- La haute température - Fuites	Usure
Filtre d'huile	-Filtre l'huile des impuretés	- Colmatage	- Les impuretés	- L'arrêt de graissage Déclanchement de la turbine
Filtre électrostatique	Extraction de vapeurs d'huile et sépare par ionisation les particules d'huile	- Colmatage - Connexion desserrée	- Les impuretés - Coupeur de corroi - mauvais lave bloc de filaments et bloc de tôles capacitive	- Mauvais Retour d'huile vers le tank
Filtre de gasoil	- Filtre l'huile des impuretés - Protection pour les injecteurs	- Colmatage	- Les impuretés	- Mauvais protection pour les injecteurs - Déclanchement de la turbine
Pompe d'huile	Distribuée l'huile dans les organes et	- Perte de fonction	- Manque d'pression	- Déclanchement de la turbine

CHAPITRE IV

	les pièces qui besoin la lubrification et le refroidissement	- Fuit d'huile	- Absence de joint	- Arrêt de lubrification
Pompes gasoil	Alimentation en gasoil la turbine	- Fuit - Cassure de roulement	- Vibration - Manque de lubrification	- Influence critique sur le linge gasoil - Déclanchement de la turbine
Pompe de drainage	Vider des huiles et des eaux du réservoir de drainage	- Piquer des membranes -fuit	État de surface des membranes	- Mauvais vidange

➤ **Sous-système 6 : Les actionneurs et Package de turbine.**

Tableau IV.8 : Analyse de sous-système 6 par la méthode AMDEC

Date de l'analyse: 02/02/2020	ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ			
	Ensemble : turbine à gaz		sous-système 6: Les actionneurs et Package de turbine	
Composant	Fonction	Mode	Cause	Effet
Package	-Protéger les équipements de l'ensemble conter les phénomènes naturels. - Réduire les bruites de la turbine	Cassure les portes de package	Phénomènes naturelles (les vents de sables)	Influence moyenne sur les exploitants
Boulons	Assurer la fixation (ventilateurs et radiateur)	- Desserrage - Cassure	- Chocs - Fatigue	Vibration
Batteries 24Vcc de système de sécurité	- Alimentation en courant continué	- Perte de performance	- Fatigue	- Arrêt des systèmes de sécurité et d'incendie

CHAPITRE IV

Les compartiments des filtres	Assemblage du système de filtration de l'air de comburant et de ventilation	Colmatage	- Les impuretés - Les vents de sables - Les poussières	- Mauvais filtration
Ventilations d'extraction d'air caisson	Refroidissement de caisson (Package)	- Casseur des roulements des moteurs - Casseur des aubes de ventilateur	- Haut température - Echauffement	Déclenchement de la turbine
Radiateur d'huile	Refroidissement de l'huile de lubrification	- Fuit - Corrosion	- Fientes d'oiseaux - Mauvais soudeur	- Mauvais refroidissement d'huile - Déclenchement de la turbine

IV.5 Analyse du système :

IV.5.1 Analyse de sous-système 1 :

Tableau IV.9: Evaluation de la criticité de sous-système 1

Date de l'analyse: 02/02/2020	ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ					
	Ensemble : turbine à gaz			sous-système 1 :Section combustion.		
Composant	Détection	Fonction				Action corrective
		O	G	D	C	
Bougie d'allumage	BAM	2	3	1	6	Changement bougie d'allumage
Détecteur de flamme	BAM	1	4	1	4	Changer le détecteur de flamme
Cheminée	- Bruit - Contrôle visuel	2	1	3	6	Soudage des fissures et nettoyage
Collecteur d'échappement	Capteur de température à gaz	2	2	2	8	Soudage des fissures
Compartiment air comburant	Mauvais fonctionnement	2	2	2	8	- Nettoyage

CHAPITRE IV

	du refroidisseur évaporatif					
Filtres	Visuel	1	3	3	9	Changement filtre ou nettoyage

IV.5.2 Analyse de sous-système 2 :

Tableau IV.10: Evaluation de la criticité de sous-système 2

Date de l'analyse: 02/02/2020	ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ					
	Ensemble : turbine à gaz			sous-système 2 : section compresseur		
Composant	Détection	Fonction				Action corrective
		O	G	D	C	
Support des IGV	Mauvaise circulation d'air	2	3	2	12	Fixation des supports des IGV
Corps avant	- visuel - CND	1	3	4	12	- Changement des corps avant - Nouvelle conception
Corps d'admission	Faible débit d'air	1	3	4	12	- Nettoyage ou changement de filtre - Changer les Corps d'admission
Aubes du stator	- Bruit - Par CND	1	4	4	16	- Redressement - Nettoyage où changement de filtre - Changer les aubes
Paliers 2 et 3 et palier 1	Bruit	2	4	2	16	- Vérifier le système de graissage - Changement des paliers

CHAPITRE IV

IV.5.3 Analyse de Sous-systèmes 3 :

Tableau IV.11: Evaluation de la criticité de sous-système 3

Date de l'analyse: 02/02/2020	ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ					
	Ensemble : turbine à gaz			sous-système 3 : L'alternateur et l'accouplement		
Composant	Détection	Fonction				Action corrective
		O	G	D	C	
Flexible d'huile	Visuel	3	3	2	18	Fixation de flexible
Grille de sortie d'air alternateur	- Bruit - Visuel	1	2	2	4	Réparation et fixation grille de sortie d'air alternateur
Boulons	Bruit	1	1	2	2	Serrage boulonniers
Paliers NDE ,DE	- Bruit - Par CND	2	4	2	16	- Vérifier le système de graissage - Changement des paliers
L'accouplement côté réducteur	- Bruit - Visuel	1	3	2	6	Réparation et graissage de l'accouplement
La boîte à borne de l'alternateur	- Visuel - Par CND	1	3	3	9	Vérification et réparation la boîte a borne

IV.5.4 Analyse de Sous-systèmes 4 :

Tableau IV.12: Evaluation de la criticité de sous-système 4

Date de l'analyse: 02/02/2020	ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ					
	Ensemble : turbine à gaz			sous-système 4 : Système contrôle commande		
Composant	Détection	Fonction				Action corrective
		O	G	D	C	
Compteur d'énergie	Visuel	1	1	2	2	Etalonnage compteur d'énergie

CHAPITRE IV

Climatiseur SDC	- Écoute - Visuel	2	1	2	4	Réparation climatiseur
Ligne téléphonique	Ecoute	1	1	2	2	Contrôle de la ligne téléphonique TG
Relais de présentation de tension	Test	3	3	3	27	Changement de relais
Armoire électrique	- visuel - Par CND	2	3	3	18	Nettoyage et soufflage l'armoire électrique
Détecteur d'incendie	-Visuel -Système Protection incendie	2	3	1	6	Nettoyage et changement de détecteur
Capteur IGV	Test	3	2	3	18	Contrôle et réglage du capteur de position IGV

IV.5.5 Analyse de Sous-systèmes 5 :

Tableau IV.13: Evaluation de la criticité sous-système 5

Date de l'analyse: 02/02/2020	ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ					
	Ensemble : turbine à gaz			sous-système 5 : Circuits de fonctionnement		
Composant	Détection	Fonction				Action corrective
		O	G	D	C	
L'huile	-Faire l'analyse -visuel	4	3	2	24	Vidange et changement de l'huile
Filtre d'huile	Visuel	2	4	2	16	Nettoyage et changement
Filtre électrostatique	Visuel	3	2	2	12	- Contrôle le fonctionnement des deux filtres électrostatiques -Nettoyer les deux filtre électrostatiques
Filtre de gasoil	Visuel	2	4	2	16	-changement de filtre gasoil

CHAPITRE IV

Pompe d'huile	Visuel	3	4	2	24	Réparation
Pompes gasoil	Visuel	1	4	2	8	Réparation
Pompe de drainage	Visuel	2	2	2	8	- Serrage et fixation les tuyaux - Réparation de fissures

IV.5.6 Analyse de Sous-systèmes 6 :

Tableau IV.14: Evaluation de la criticité sous-système 6

Date de l'analyse: 02/02/2020	ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ					
	Ensemble : Turbine à gaz			sous-système 6 : Les actionneurs et Package de turbine		
Composant	Détection	Fonction				Action corrective
		O	G	D	C	
Package	Visuel	3	2	2	12	Nettoyage et réparation du package
Boulons (ventilateurs et radiateur)	Bruit	2	2	3	12	Serrage boulonnière
Batteries 24Vcc	Test	2	3	3	18	- Contrôle des batteries - Serrage des câbles
Les compartiments des filtres	Visuel	2	3	2	12	- Nettoyages des compartiments des filtres
Ventilations d'extraction d'air caisson	Visuel	2	4	2	16	Réglage des ventilations
Radiateur d'huile	Visuel	3	4	2	24	- contrôle des vannes de basculement - Nettoyage des refroidisseurs d'huile

CHAPITRE IV

IV.6 Interprétation des résultats de l'analyse AMDEC :

Tableau IV.15: Interprétation des résultats de l'analyse AMDEC

Composant	Criticité	Hierarchisation	Recherche des actions préventives
Relais de présentation de tension	27	4 Criticité interdite (seuil de criticité)	<ul style="list-style-type: none"> • Remise en cause de la conception. • Seuil critique
L'huile	24		
Pompe d'huile	24		
Radiateur d'huile	24		
Flexible d'huile	18		
Armoire électrique	18		
Capteur IGV	18		
Batteries 24Vcc	18		
Aubes du stator	16	3 Criticité élevé	<ul style="list-style-type: none"> • Maintenance préventive. • Révision de la conception.
Paliers 2 et 3 et palier 1	16		
Paliers NDE ,DE	16		
Filtre d'huile	16		
Filtre de gasoil	16		
Ventilations d'extraction d'air caisson	16		
Support des IGV	12		
Corps avant	12		
Corps d'admission	12		
Filtre électrostatique	12		
Package	12		
Boulons (ventilateurs et radiateur)	12		
Les compartiments des filtres	12		
Filtres	9		
La boîte à borne de l'alternateur	9		
Collecteur d'échappement	8	2 Moyenne critique	
Compartiment air comburant	8		

CHAPITRE IV

Pompes gasoil	8		<ul style="list-style-type: none"> • Maintenance préventive, systématique. • Amélioration des performances. • Limites du seuil résiduel à ne pas dépasser.
Pompe de drainage	8		
Bougie d'allumage	6		
Cheminée	6		
L'accouplement côté réducteur	6		
Détecteur d'incendie	6		
Détecteur de flamme	4	1 Peu critique (négligeable)	<ul style="list-style-type: none"> • Maintenance corrective. • Aucune modification de conception
Grille de sortie d'air alternateur	4		
Climatiseur SDC	4		
Boulons	2		
Compteur d'énergie	2		
Ligne téléphonique	2		

IV.7 Recommandations :

. Après l'analyse de sous-systèmes et l'interprétation des résultats, nous être présentent des solutions et recommandations pour les composants, afin de réduire l'occurrence élevé , ce qui conduit à une criticité réduite.

Le tableau suivant présente les solutions proposées :

Tableau IV.16 : Plan de maintenance préventive proposé

PLAN DE MAINTENANCE PREVENTIVE							
TURBOMACH T70							
Opérations exécutables en fonctionnement et en arrêt		Fréquence					Observations
Composant	Opérations	J	M	T	S	A	
L'huile	Vérifier la qualité de l'huile dans le système de lubrification		X				Les caractéristiques d'huile

CHAPITRE IV

	Purifier ou remplacer l'huile					X	Selon l'échelle de cahier de charge de turbine
	Contrôler le niveau d'huile dans le réservoir					X	L'indicateur de niveau d'huile
	Vérifier le fonctionnement de tige d'indicateur du niveau d'huile.					X	Visuelle
	Assurer de retour d'huile vers le tank	X					Visuelle
Les filtres électrostatique	-Nettoyer les deux filtre électrostatiques		X				Visuelle
	- Contrôle le fonctionnement des deux filtres électrostatiques				X		Visuelle
Palier NDE et DE	S'assurer que les paliers NDE et DE sont dument lubrifiés.		X				Visuelle
	Vérifier que la quantité d'huile vidangée des paliers est bien suffisante,				X		Visuelle
	Vérifier la température des paliers	X					Thermomètre
	Contrôler les vibrations des paliers	X					Capteurs

CHAPITRE IV

Les boulonnes	Vérification et Serrage boulonnière		X				Visuelle
Ventilations d'extraction d'air caisson	Contrôle de fonctionnement		X				Visuelle
	Nettoyage de ventilation			X			Visuelle

IV.8 Conclusion :

L'application des méthodes AMDEC et ABC à Turbine TURBOMACH T70, nous a permis d'apporter des explications et de proposer des solutions qui contribuent à améliorer le plan de maintenance et à identifier les éléments les plus ciblés par les pannes.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale :

La stratégie de maintenance est l'une des fonctions qui contribuent à améliorer la prospérité des entreprises et des institutions économiques et industrielles. Par conséquent, la stratégie de maintenance la plus appropriée doit être choisie pour contrôler à la fois les coûts de maintenance, la disponibilité, l'outil de production et la qualité des produits et des services.

Lors de notre stage pratique à SKTM ELGOLEA, cela nous a permis de suivre les performances des turbines et de suivre les agents de maintenance effectuer leurs tâches périodiques et leurs interventions pour réparer les pannes. Nous avons également collecté les fiches d'historiques et les données techniques de TURBOMACH T70 qui nous permettront d'effectuer des analyses et des calculs, à afin de connaître les sous-systèmes et les composantes les plus vulnérables aux dysfonctionnements, et de développer un plan de maintenance pour réduire les pannes et améliorer les performances de la turbine.

Notre étude a commencé par l'application de la méthode ABC, selon l'historique des pannes durant les (04) quartes dernières années pour identifier les sous-systèmes les plus affectés, les trois zones en classer comme suivants :

Zone "A" : (maintenance systématique), les 84,75% des pannes représentent :

1. Les actionneurs et Package de turbine.
2. Circuits de fonctionnement.
3. Système contrôle commande.

Zone "B" : (maintenance conditionnelle), les 12.06% des pannes représentent deux sous-systèmes :

1. Section combustion
2. Section compresseur

Zone "C" : (la maintenance corrective) les 3% des pannes représentent l'alternateur et l'accouplement.

Après l'application de la méthode ABC, nous utilisant la méthode AMDEC pour déterminer les composants les plus onéreux ainsi la turbine en particulier et la production en général. Ce qui nous a permis de préciser les actions correctives de chaque classe de criticités.

CONCLUSION GENERALE

A la fin Dans notre travail, nous avons élaboré des recommandations pour améliorer le plan de maintenance préventive, ces recommandations sont principalement basées sur la réduction de l'occurrence des pannes et donc la réduction de criticité.

Bibliographique

Bibliographique :

- [01] Sit Web <http://www.sktm.dz/>.
- [02] Documentation de l'entreprise, SKTM, EL Goléa.
- [03] R.Keith Mobley. « *Total Plant Performance Management* », Gulf Publishing Company, Houston, Texas.1999.
- [04] MOHAMED EL KOUJOK , “ Contribution au pronostic industriel : intégration de la confiance à un modèle prédictif neuro-flou ”, THÈSE Version finale présentée à L’U.F.R. Des Sciences Et Techniques De L’université De Franche-Comté pour obtenir le Grade De Docteur De L’université De Franche-Comté, 2010.
- [06] BOUBAKRI MOHAMED LAMINE et DJAIDJA OMAR ANAS, Une approche d’amélioration du service maintenance basée sur les réseaux des files d'attente, M’SILA, Université Mohamed Boudiaf - M’sila, 2017.
- [07] NF EN 13306, X 60-319, Terminologie de la maintenance, 2002.
- [08] Document de l'entreprise, Manuel Turbogenerateur Taurus 70.
- [08] Dhillon, B. S. « Engineering Maintainability: How to Design for Reliability and Easy Maintenance». Gulf Publishing Company, Houston, Texas.1999.
- [10] MONCHY F, CLAUDE KOJCHEN. « MAINTENANCE Outils, méthodes et organisations pour une meilleure performance » 4^e édition DUNOD, Paris, 2015.
- [10] MARC THOMAS, « Fiabilité maintenance prédictive et vibration des machines ». Presses de l'Université du Québec, 2012.
- [11] Nicolas PALLUAT, « Méthodologie de surveillance dynamique à l'aide des réseaux neuro-flous temporels ». Thèse présentée à L'UFR des Sciences et Techniques de l'Université de Franche-Comté pour obtenir le GRADE De Docteur De l'université De FRANCHE-COMTE en Automatique (Ecole Doctorale Sciences Physiques pour l'Ingénieur et Microtechniques), janvier 2006.
- [12] Alin Gabriel Mihalache. Modélisation et évaluation de la fiabilité des systèmes mécatroniques : application sur système embarqué. Sciences de l'ingénieur [physics]. Université d'Angers, France. Décembre 2007.

Bibliographique

- [12] Mohamed Cherif EMBAREK , «Développement d'une méthode de contrôle pour l'amélioration de la sûreté de fonctionnement des installations industrielles stratégiques ». Thèse Présentée en vue de l'obtention du diplôme DOCTORAT en électromécanique Faculté Des Sciences De L'Ingénieur Département D'Electromécanique, Université Badji Mokhtar ,ANNABA.
- [13] Mme Ouahiba TEBBI, « Estimation Des Lois De Fiabilité En Mécanique Par Les Essais Accélères ». Thèse Présentée A l'Institut des Sciences et Techniques de l'Ingénieur d'Angers en vue de l'obtention du diplôme DOCTORAT de l'UNIVERSITE D'ANGERS (ECOLE DOCTORALE D'ANGERS) en Spécialité : Sciences pour l'ingénieur, mars 2005.
- [14] Michel ROUX, Tong LIU. « Optimisez votre plate-forme logistique »,4^{ème} édition, Groupe Eyrolles. Paris, France. Mai 2010.
- [15] AMIRA Messaoud, BOULECHEFAR Aissam. « Optimisation et amélioration de la maintenance par la fiabilité Cas d'une turbine d'une centrale électrique, Université Mohammed Seddik Ben Yahia – Jijel, Département de Génie Mécanique.2019.
- [16] Nuovo pignone « Guide pratique des Turbine à gaz » 1999.
- [17] M. Pluviôse, C.Périlhon ."Turbomachines, description. Principes de base ", Techniques de l'ingénieur, BM 4280.
- [18] Document de l'entreprise, T70_T130, Partie électrique et Contrôle commande
- [20] Document de l'entreprise T70_T130, Formation mécanique.
- [21] Document de l'entreprise T70_T130, Séquences et mode de fonctionnement.
- [22] Document de l'entreprise Manuel Turbogenerateur Taurus 70 B006.T70.WM.001 .