
République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Ibn Khaldoun de Tiaret

Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie Mécanique



MÉMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Electromécanique

Spécialité : Maintenance Industrielle

Thème

Mise en œuvre du concept de la maintenance
basée sur la fiabilité pour la turbine à gaz
MS 3002

Préparé par :

BELFEDDAL Mohamed Taki Eddine

Soutenu publiquement le : 15 / 06 / 2023, devant le jury composé de :

M. SAAD Mohamed	Maître de conférences "A" (Univ. Ibn Khaldoun)	Président
M. MAZARI Djamel	Maître assistant "A" (Univ. Ibn Khaldoun)	Examineur
M. SAD-CHEMLOUL Noureddine	Professeur (Univ. Ibn Khaldoun)	Examineur
M. GUEMMOUR Mohamed	Maître de conférences "B" (Univ. Ibn Khaldoun)	Encadrant

Année universitaire : 2022 - 2023

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

إِنِّي رَأَيْتُ أَنَّهُ مَا كَتَبَ أَحَدُهُمْ فِي
يَوْمِهِ كِتَابًا إِلَّا قَالَ فِي عُنُقِهِ،

لَوْعَيَّرَ هَذَا لَكَانَ أَحْسَنَ وَلَوْ زُيِّدَ ذَاكَ لَكَانَ يُسْتَحْسَنُ، وَلَوْ
قُدِّمَ هَذَا لَكَانَ أَفْضَلَ، وَلَوْ تَرَكَ ذَاكَ لَكَانَ أَجْمَلَ،
وَهَذَا مِنْ أَعْظَمِ الْعِبَرِ، وَهُوَ دَلِيلٌ عَلَى اسْتِيْلَاءِ النَّقْصِ
عَلَى جُمْلَةِ الْبَشَرِ.

- القاضي الفاضل -



Dédicaces

Il existe dans le monde des êtres chers, à qui nous leurs devons presque tout, et qui compte beaucoup pour nous ; et rien ne pourrait être accompli pour leur rendre tout ce qu'ils nous ont apporté dans la vie.

Je veux dédier ce modeste travail à :

Mes Parents,

Mon frère, Mes sœurs,

Mes enseignants, Mes Collègues

Toute ma grande famille,

Ainsi qu'à tous mes amis



REMERCIEMENTS

Je tiens avant tout à remercier chaleureusement Monsieur **GUEMMOUR Mohamed Boutkhal**, Maître de conférences classe "B" à l'université de Tiaret de m'avoir encadré et assuré le suivi de mon travail. En me faisant confiance depuis le début de mes travaux, il a su diriger ce travail tout en me laissant une complète autonomie. Je le remercie non seulement pour la qualité de son encadrement mais également pour l'incalculable qualité humaine dont il a toujours fait preuve.

Je suis reconnaissant de l'honneur que m'ont fait Monsieur **SAD-CHEMLOUL Nordeddine**, Professeur à l'université de Tiaret et Monsieur **MAZARI Djamel**, Maître-assistant classe "A" à l'université de Tiaret, pour avoir accepté de prendre part au jury. Je les remercie vivement d'avoir accepté la tâche d'évaluer mon mémoire en qualité d'examineur, en consacrant de leur précieux temps à l'examen, à l'évaluation de mon travail et pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail. Je les remercie aussi pour la patience et la pertinence dont ils ont fait preuve à la lecture de ce document afin de l'expertiser et estimer sa valeur scientifique.

Je remercie tout autant Monsieur **SAAD Mohamed**, maître de conférence classe "A" à l'université Ibn Khaldoun de tiaret, pour avoir accepté de prendre part au jury, de le présider et de proclamer le résultat de la délibérations du jury ma soutenance.

Enfin, je tiens aussi à remercier l'équipe pédagogique, constituée de l'ensemble des enseignants permanents et vacataires qui ont assurés ma formation durant mon cycle de master, ainsi que l'équipe de formation, constituée du responsable de filière et du responsable de la spécialité qui ont assurés la promotion de la spécialité maintenance industrielle, sans oublier le staff administratif du département de génie mécanique qui a veillé à l'organisation, la planification, le contrôle et le suivi des activités pédagogiques et à leur tête Monsieur le chef de département.

LISTE DES ABREVIATIONS

RCM	Reliability Centred Maintenance
PM	Plan de Maintenance
MP	Maintenance Préventive
TIP	Test d'Inspection Prédicatifs
MTBF	Mean Time Between Failures
AMDEC	Analyse des Modes de Défaillances, leurs Effets et leurs Criticités
ADD	Arbre De Défaillance
EA	Explorations de l'Age
AFNOR	Association Française de Normalisation
NF	Norme Française
HP	Haute Pression
BP	Basse Pression
IGV	Inlet Guide Vane
EGV	Exit Guide Vanes
LVDT	Linear Variable Differential Transformer
VPR	Valve Pressure Regulator
UV	Ultra-Violet

LISTES DES FIGURES

CHAPITRE I : CONCEPT ET PROCESSUS DE LA RCM

Figure I.1 : Evolution des attentes dans le domaine de ma maintenance industrielle	7
Figure I.2 : Evolution des points de vues sur la défaillance des équipements.....	8
Figure I.3 : Développement des systèmes administratifs	9
Figure I.4 : Composantes de la RCM	12
Figure I.5 : Techniques de base utilisées par la maintenance proactive pour prolonger la durée de vie des équipements.	15
Figure I.6 : Causes des défaillances.....	20

CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA TURBINE A GAZ MS 3002

Figure II.1 : Classification des turbines.....	28
Figure II.2 : Configuration d'une TAG à un seul arbre.....	28
Figure II.3 : Configuration d'une TAG double arbre	28
Figure II.4 : Schéma générale de la partie section d'admission d'air	30
Figure II.5 : Position des ventilateurs du système aero-réfrigérant.....	31
Figure II.6 : Vue d'ensemble du système aero-réfrigérant	32
Figure II.7 : Système de lancement	33
Figure II.8 : Carter d'admission	34
Figure II.9 : Compresseur axial	34
Figure II.10 : Carters de la section compresseur	35
Figure II.11 : Les chambres de combustion	35
Figure II.12 : Arrangement d'une chambre de combustion II.....	36
Figure II.13 : Arrangement d'une chambre de combustion II.....	36
Figure II.14 : L'enveloppe de la chambre de combustion.....	37
Figure II.15 : Tubes à flamme	37
Figure II.16 : Les injecteurs.....	37
Figure II.17 : Tubes d'interconnexions	38
Figure II.18 : Bougie d'allumage rétractable	38
Figure II.19 :Détecteur de flamme UV.....	38
Figure II.20 : Pièces de transition.....	39
Figure II.21 : Module haute pression	39
Figure II.22 : Carter de la turbine	40
Figure II.23 : Directrice fixe.....	40

Figure II.24: Aubes de premier étage	40
Figure II.25: Carter de la turbine	41
Figure II.26: Carter de la turbine	41
Figure II.27: Directrice variable	41
Figure II.28: Module basse pression	42
Figure II.29: Paliers de la TAG	42
Figure II.30: Différents types des paliers	43
Figure II.31: Section d'échappement	43
Figure II.32: Schéma simplifié de circuit d'huile de graissage.....	44
Figure II.33: Pompe d'huile de graissage principale.....	45
Figure II.34: Pompe d'huile de graissage auxiliaire et secours.....	45
Figure II.35: Schéma simplifié de circuit d'huile hydraulique	46
Figure II.36: Composants principaux du système d'huile hydraulique	47

CHAPITRE III : MISE EN ŒUVRE LA RCM LA POUR TURBINE A GAZ MS 3002

Figure III.1: Types de AMDEC	50
Figure III.2: Décomposition structurelle de la turbine à gaz MS 3002.....	56

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I : CONCEPT ET PROCESSUS DE LA RCM

Tableau I.1 : Le processus de la RCM.....	21
Tableau I.2 : Processus général de L'AMDEC.....	24

CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA TURBINE A GAZ MS 3002

Tableau II.1 : Les conditions ISO de la turbine MS 3002 avec du gaz naturel.....	29
---	----

CHAPITRE III : MISE EN ŒUVRE LA RCM LA POUR TURBINE A GAZ MS 3002

Tableau III.1 : Exemples de feuille de travail de l'AMDEC	52
Tableau III.2 : Exemples des modes de défaillances	52
Tableau III.3 : Exemples des causes de défaillance.....	53
Tableau III.4 : Grille de cotation de fréquence, gravité et non détection	54
Tableau III.5 : Limites de criticité.	55

SOMMAIRE

Introduction générale	2
-----------------------------	---

CHAPITRE 1 : CONCEPT ET PROCESSUS DE LA RCM

I.1. Introduction.....	5
II.2. Evolution de la fonction maintenance	5
I.2.1 Première génération (1900-1945)	5
I.2.2 Deuxième génération (1945 -1970)	6
I.2.3 La troisième génération (1970 -2000).....	6
I.2.3.1 Nouvelle attentes	6
I.2.3.2 Nouvelles recherches.....	8
I.2.3.3 Nouvelles techniques.....	9
I.2.3.4 Défis de la maintenance	10
I.3. Concept de la rcm	11
I.3.1. Origines.....	11
I.3.1.1 Origines de la RCM 1.....	11
I.3.1.2 Origines de la RCM 2.....	11
I.3.2 Définition de la RCM.....	12
I.3.3 Composantes de la RCM.....	12
I.3.3.1 Maintenance réactive.....	12
I.3.3.2. Maintenance préventive	13
1° Détermination de la périodicité des tâches de maintenance et de surveillance.....	13
2° Surveillance des équipements	13
I.3.3.3. Test et inspections prédictifs (TIP)	14
I.3.3.4. Maintenance proactive	15
I.3.4 Attentes de la RCM.....	15
I.3.4.1 Définir des aspirations réalistes.....	15
I.3.4.2 Fournir des informations sur les risques de l'entreprise	16

I.3.4.3 Améliorer les relations avec les tiers de l'entreprise	16
I.3.4.4 Gérer les risques associés à l'environnement, la santé et la sécurité	16
I.3.4.5 Fournir des données quantitatives sur la réduction des risques.....	16
I.3.4.6 Prévenir la perte de connaissances essentielles	16
I.3.4.7 Réduire les coûts globaux.....	17
I.3.5. Bénéfices de la RCM	17
I.4. Notions relatives à la rcm	17
I.4.1 Notion de fonction	17
I.4.2. Notion de fiabilité	18
I.4.2.1. Définition selon la norme ISO/CEI 2382-14.....	18
I.4.2.2. Fiabilité et qualité.....	19
I.4.3. Notion de défaillance	19
I.4.4. Mode de défaillance	20
I.5. Le processus de la RCM.....	21
Étape 1 : Fonctions	22
Étape 2 : Défaillances fonctionnelles	22
Étape 3 : Modes de défaillance.....	22
Étape 4 : Effets de la défaillance	23
Étape 5 : Conséquences de la défaillance.....	23
Étape 6 : Maintenance proactive et intervalles associés.....	24
Étape 7 : Stratégies par défaut.....	24
I.6. Conclusion	25

CHAPITRE 2 : PRESENTATION DE LA TURBINE A GAZ MS 3002

2.1. Introduction.....	27
2.2. Comprendre la turbine.....	27
2.2.1. Définition d'Une Turbine à Gaz.....	27
2.2.2. Classifications des turbines	28
2.2.3. Configuration De La Turbine à Gaz à Deux Arbres	28

2.2.4. Description du fonctionnement	29
2.2.5. Les conditions d'utilisation ISO avec du gaz naturel	29
2.2.6. Caractéristiques et avantages de la turbine à gaz MS3002	30
2.3. Analyse structurelle de la Turbine MS 3002	30
2.3.1. Section d'admission d'air	30
2.3.1.1. Objectif principale	30
2.3.1.2. Fonctionnalités.....	30
2.3.2. Section aéroréfrigérant	31
2.3.3. Section lancement.....	32
2.3.3.1. Objectif principal	33
2.3.3.2. Caractéristiques.....	33
2.3.4. Section compresseur axial	33
2.3.4.1. Section d'admission.....	33
2.3.4.2. Section compresseur axiale.....	34
2.3.4.3. Caractéristiques	34
2.3.5. Section combustion	35
2.3.6. Section de turbine.....	39
2.3.6.1. Composantes principales	40
2.3.7. Section échappement.....	43
2.3.8. Systèmes auxiliaires	43
2.3.8.1. Système huile de graissage	43
2.3.8.2. Système huile hydraulique.....	45
2.3.8.3. Boîtier d'engrenage	47
2.4. Conclusion.....	47

CHAPITRE 3 : MISE EN ŒUVRE LA RCM LA POUR TURBINE A GAZ MS 3002

3.1. Introduction.....	49
3.2. Comprendre AMDEC	49
3.2.1. Historique et définitions	49
3.2.2. Principes de base	50
3.2.3. Objectifs de AMDEC	51
3.2.4. Particularités de la méthode	51
3.2.5. Démarche AMDEC	51
3.2.5.1. Les modes de défaillance.....	52

3.2.5.2. Les causes de défaillance	53
3.2.5.3. Effet de la défaillance	53
3.2.5.4. Mode de détection.....	54
3.2.5.5. Criticité des conséquences	54
3.2.5.6. Application de la méthode AMDEC	55
3.3. Le plan de maintenance	69
3.3.1. Section d'admission d'air	69
3.3.2. Système Aero réfrigérant.....	70
3.3.3. Système Turbine de lancement.....	71
3.3.4. Section Turbine (compresseur)	72
3.3.5. Section combustion	73
3.3.6. Extracteur d'air chauds.....	73
3.3.7. Systeme d'échappement	74
3.3.8. Système huile de graissage.....	75
3.3.9. Système huile hydraulique	76
3.3.10. Section Pompe de secours électrique et pneumatique.....	76
3.3.11. Boitier d'engrenage (Gear Box)	77
3.4. Conclusion	77
Conclusion générale	79
Références	80
Résumés	81

**INTRODUCTION
GÉNÉRALE**

Le secteur des hydrocarbures joue un rôle crucial dans l'économie mondiale, étant l'une des industries les plus importantes et les plus influentes. Il englobe l'exploration, la production, le raffinage et la distribution des hydrocarbures, tels que le pétrole et le gaz naturel, qui sont des sources d'énergie essentielles pour la société moderne.

Les turbines à gaz ont connus au cours de ces dernières années un développement considérable dans des nombreuses applications industrielles dans le domaine des hydrocarbures. En particulier dans le domaine du transport et de réinjection du gaz.

Dans ce secteur complexe et exigeant, la maintenance revêt une importance particulière en raison des enjeux critiques liés à la sécurité des travailleurs, à la protection de l'environnement et à la préservation des actifs coûteux. Les équipements utilisés dans l'industrie des hydrocarbures sont soumis à des conditions extrêmes, tels que des températures élevées, des pressions élevées, des environnements corrosifs et des charges lourdes, ce qui peut entraîner des défaillances coûteuses et des interruptions non planifiées.

Le rôle de la fonction maintenance est de choisir une politique adéquate en prenant en considération l'aspect technique, économique et financier, des différentes méthodes en vue d'optimiser la disponibilité des matériels.

Pour minimiser l'impact de ces arrêts sur la production et traiter rapidement les problèmes des arrêts accidentels de la machine de production qui sont considérés comme une source de perturbation et de perte de productivité ; les activités de maintenance doivent être intégrées à la gestion de production.

technique de maintenance applicable sur les équipements et les machines de production, cette technique s'appelle "**Reliability Centred Maintenance (RCM)**", qu'est de planifier l'exécution des autres tâches de maintenance, en altérant le moins possible le plan de production, et tout en respectant au mieux la périodicité de maintenance des équipements.

Contrairement aux méthodes de maintenance traditionnelles, qui se basent souvent sur des calendriers préétablis ou des défaillances imprévues, la maintenance basée sur la fiabilité repose sur l'utilisation de données en temps réel, de techniques de surveillance avancées et d'outils d'analyse prédictive. Elle permet de prendre des décisions éclairées en matière de maintenance, en identifiant les signes précurseurs de défaillance, en évaluant les risques et en planifiant les interventions de maintenance de manière proactive.

L'objectif de ce mémoire est de déterminer le remplacement préventif à mettre en œuvre en fonction des priorités, des facteurs économiques et impératifs de sécurité.

Ce mémoire comporte trois chapitres, qui sont organisés comme suit : afin d'atteindre nos objectifs, en premier lieu, on présente les principes de bases de la maintenance centrée sur la fiabilité, qui seront synthétisés dans le premier chapitre dénommé « généralité sur la RCM », puis on exposera l'objet de notre étude à travers le deuxième chapitre intitulé « généralité sur la turbine à gaz MS 3002 » par sa description et son fonctionnement ainsi que ses modes de défaillances, après présentation du centre d'intérêt, on passe à la mise en œuvre de la démarche RCM résumé dans le troisième chapitre titré « Application de la RCM la turbine MS 3002 »

Chapitre 1

CONCEPT DE LA MAINTENANCE CENTREE SUR LA FIABILITE

I.1. INTRODUCTION

Lorsqu'on exploite des équipements industriels critiques, il est crucial d'assurer leur sûreté de fonctionnement. Dans ce contexte, la maintenance centrée sur la fiabilité est une approche stratégique qui vise à anticiper, prévenir et gérer les défaillances potentielles avant qu'elles ne se produisent, en se concentrant sur la surveillance, l'analyse et la gestion proactive des défaillances et des risques industrielles. Dans ce chapitre, en premier lieu nous allons commencer par exposer l'évolution de la fonction maintenance ainsi que les défis auxquels elle est confrontée et la nécessité d'une nouvelle approche de maintenance pour répondre à ces défis, en deuxième lieu définir l'approche de la RCM et en troisième lieu décrire les étapes clés impliquées dans la mise en œuvre de son processus.

II.2. EVOLUTION DE LA FONCTION MAINTENANCE

Si on suit l'évolution de la maintenance depuis les années 1900, elle peut être retracée sur trois générations. A noter que le concept de la RCM devient rapidement une pierre angulaire de la troisième génération. Cependant, cette dernière génération ne peut être considérée qu'en perspective à la lumière des premières et deuxièmes générations. [1]

I.2.1 Première génération (1900-1945)

La première génération couvre la période allant jusqu'à la deuxième guerre mondiale. À cette époque, l'industrie n'était pas très mécanisée, donc les temps d'arrêt n'avaient pas beaucoup d'importance. Cela signifiait que la prévention des pannes d'équipement n'était pas une priorité très élevée dans l'esprit de la plupart des gestionnaires. En même temps, la plupart des équipements étaient simples et une grande partie d'entre eux étaient surdimensionnés. Cela les rendaient fiables et facile à réparer. En conséquence, il n'y avait aucun besoin d'entretien systématique de quelque sorte que ce soit au-delà des simples routines de nettoyage, d'entretien et de lubrification. Le besoin de compétences était également inférieur à ce qu'il est aujourd'hui.

I.2.2 Deuxième génération (1945 -1970)

Après la deuxième guerre mondiale, les choses ont radicalement changés. la demande sur les produits industriels de toutes sortes augmentaient tandis que l'offre de main-d'œuvre industrielle a fortement chuté. Cela a conduit à une mécanisation accrue.

- Dans les années 1950, les machines de tous types étaient plus nombreuses et plus complexes. L'industrie commençait à dépendre d'eux. Au fur et à mesure que cette dépendance augmentait, les temps d'arrêt devenaient de plus en plus importants. Cela a

conduit à l'idée que les pannes d'équipement pouvaient et devaient être évitées, ce qui a conduit à son tour au concept de maintenance préventive.

- Dans les années 1960, il s'agissait principalement de révisions d'équipements effectuées à intervalles fixes. Le coût de l'entretien a également commencé à augmenter fortement par rapport aux autres coûts d'exploitation. Cela a conduit à la croissance des systèmes de planification et de contrôle de la maintenance. Celles-ci ont grandement contribué à maîtriser la maintenance et font maintenant partie intégrante de la pratique de la maintenance. Enfin, le montant du capital immobilisé dans les actifs fixes ainsi qu'une forte augmentation du coût de ce capital ont conduit les gens à commencer à chercher des moyens de maximiser la durée de vie des actifs.

I.2.3 La troisième génération (1970 -2000)

Depuis le milieu des années 70, le processus de changement dans l'industrie s'est encore accéléré. Les changements peuvent être classés sous les rubriques de : *nouvelles attentes*, *nouvelles recherches* et *nouvelles techniques*.

I.2.3.1 Nouvelle attentes

Les temps d'arrêt ont toujours affecté la capacité de production des actifs physiques en réduisant la production, en augmentant les coûts d'exploitation et en interférant avec le service client. Dans les années 1960 et 1970, c'était déjà une préoccupation majeure dans les secteurs miniers, manufacturier et des transports. Dans le secteur manufacturier, les effets des temps d'arrêt sont aggravés par l'évolution mondiale vers des systèmes juste-à-temps, où la réduction des stocks de travaux en cours signifie que de très petites pannes sont désormais beaucoup plus susceptibles d'arrêter une usine entière. La croissance de la mécanisation et de l'automatisation a fait que la fiabilité et la disponibilité sont également devenues des enjeux clés dans des secteurs aussi divers que les soins de santé, l'informatique, les télécommunications et la gestion des bâtiments.

Une plus grande automatisation signifie également que de plus en plus d'échecs affectent notre capacité à maintenir des normes de qualité satisfaisantes. Cela s'applique autant aux normes de service qu'à la qualité des produits. Par exemple, les pannes d'équipement peuvent affecter la climatisation des bâtiments et la ponctualité des réseaux de transport autant qu'elles peuvent interférer avec le respect constant des tolérances spécifiées dans la fabrication.

De plus en plus de pannes ont de graves conséquences sur la sécurité ou l'environnement, à une époque où les normes dans ces domaines augmentent rapidement. Dans certaines parties du monde, le point approche où les organisations se conforment aux attentes de la société en matière de sécurité et d'environnement, ou elles cessent de fonctionner.

Cela ajoute un ordre de grandeur à notre dépendance à l'égard de l'intégrité de nos actifs physiques - une dépendance qui va au-delà du coût et qui devient une simple question de survie organisationnelle.

En même temps que notre dépendance vis-à-vis des actifs physiques augmente, leur coût - d'exploitation et de propriété - augmente également. Pour rentabiliser au maximum l'investissement qu'ils représentent, il faut les faire fonctionner efficacement aussi longtemps que nous le souhaitons.

Enfin, le coût de l'entretien lui-même continue d'augmenter, en termes absolus et en proportion des dépenses totales. Dans certaines industries, il s'agit maintenant du deuxième ou même du plus important élément des coûts d'exploitation. En conséquence, en seulement trente ans, il est passé de presque nulle part au sommet de la ligue en tant que priorité de contrôle des coûts. La **figure 1.1** montre comment les attentes en matière de maintenance ont évolué.

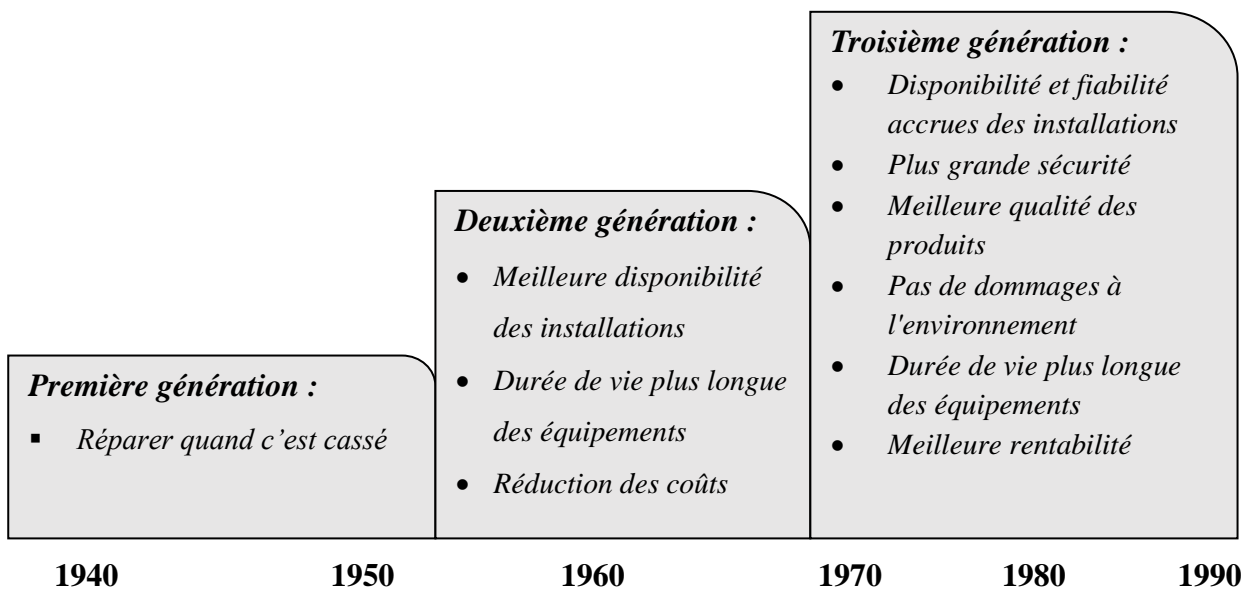


Figure I.1 : Evolution des attentes dans le domaine de la maintenance industrielle [1]

I.2.3.2 Nouvelles recherches

Indépendamment des grandes attentes, de nouvelles recherches modifient bon nombre de croyances les plus fondamentales concernant la durée d'exploitation des équipements et leur défaillances. Car, il est évident qu'il existe de moins en moins de liens entre l'âge d'exploitation de la plupart des actifs et leur probabilité de défaillance. Le premier point de vue sur la défaillance était simple. Les ingénieurs voyaient qu'à mesure que les objets vieillissaient, elles étaient plus susceptibles d'avoir une défaillance. (**Figures 1.2a et .2b**).

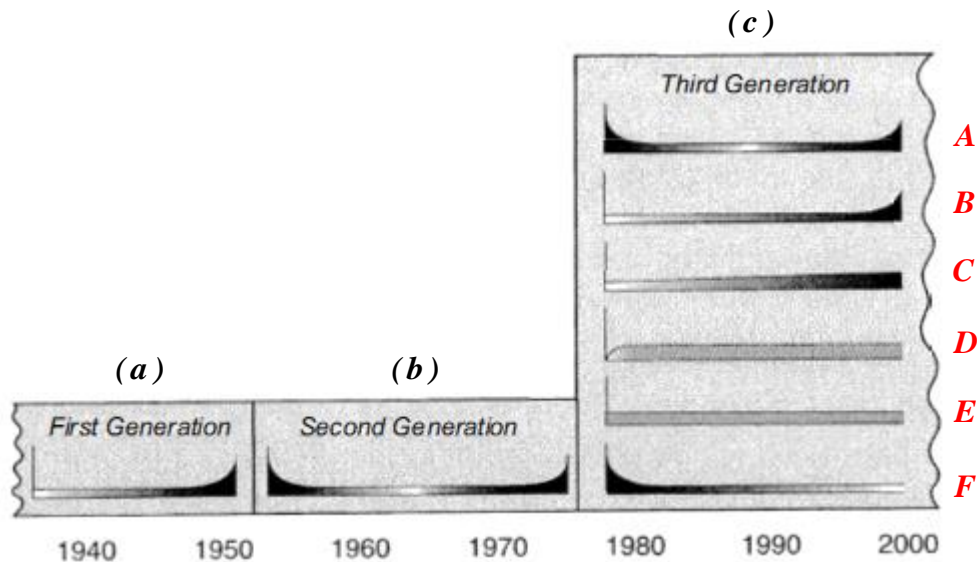


Figure I.2 : Evolution des points de vues sur la défaillance des équipements [1]

Cependant, les équipements étant bien plus complexes qu'auparavant, la recherche de troisième génération a révélé que dans la pratique il y a six modèles de défaillance qui se produisent réellement (**Figure 1.2c**). Les graphiques montrent la probabilité conditionnelle de défaillance par rapport à l'âge de fonctionnement pour une variété d'éléments électriques et mécaniques. Tel que :

- **Le modèle A** est la courbe de baignoire bien connue. Elle commence par une défaillance à incidence élevée, suivie d'une probabilité conditionnelle de défaillance constante ou progressivement croissante, puis d'une zone d'usure.
- **Le modèle B** montre une probabilité de défaillance conditionnelle constante ou en augmentation lente, se terminant par une zone d'usure
- **Le modèle C** montre une probabilité de défaillance conditionnelle qui augmente lentement, mais il n'y a pas d'âge d'usure identifiable.
- **Le modèle D** montre une faible probabilité conditionnelle de défaillance lorsque l'article est neuf ou vient de sortir de la ligne de production, puis une augmentation rapide jusqu'à un niveau constant,
- **Le modèle E** montre une probabilité conditionnelle constante de la défaillance à tous les âges (Défaillance aléatoire).
- **Le modèle F** commence par une mortalité infantile élevée, qui finit par tomber à une probabilité conditionnelle d'échec constante ou en augmentation très lente.

I.2.3.3 Nouvelles techniques

En termes de nouveaux concepts et de nouvelles techniques de maintenance, il y a eu une croissance explosive. Des centaines de concepts et de techniques ont été développés et d'autres voient le jour chaque semaine. Les nouveaux développements comprennent:

1. outils d'aide à la décision, tels que les études de dangers, les analyses des modes de défaillance et de leurs effets et les systèmes experts
2. nouvelles techniques de maintenance, telles que la surveillance de l'état
3. concevoir des équipements en mettant beaucoup plus l'accent sur la fiabilité et la maintenabilité
4. un changement majeur dans la pensée organisationnelle vers la participation, le travail d'équipe et la flexibilité.

Le défi majeur auquel sont confrontés les responsables de la maintenance de nos jours n'est pas seulement d'apprendre quelles sont ces techniques, mais de décider lesquelles sont utiles et lesquelles ne sont pas dans leurs propres organisations. Si les bons choix sont faits, il est possible d'améliorer les performances des actifs et en même temps de contenir, voire de réduire, les coûts de maintenance. Au contraire, si les mauvais choix sont faits, de nouveaux problèmes vont surgir alors que les problèmes existants ne font qu'empirer.

La **figure I.3** montre comment l'accent classique mis sur les révisions et les systèmes administratifs s'est développé pour inclure de nombreux nouveaux développements dans un certain nombre de domaines différents.

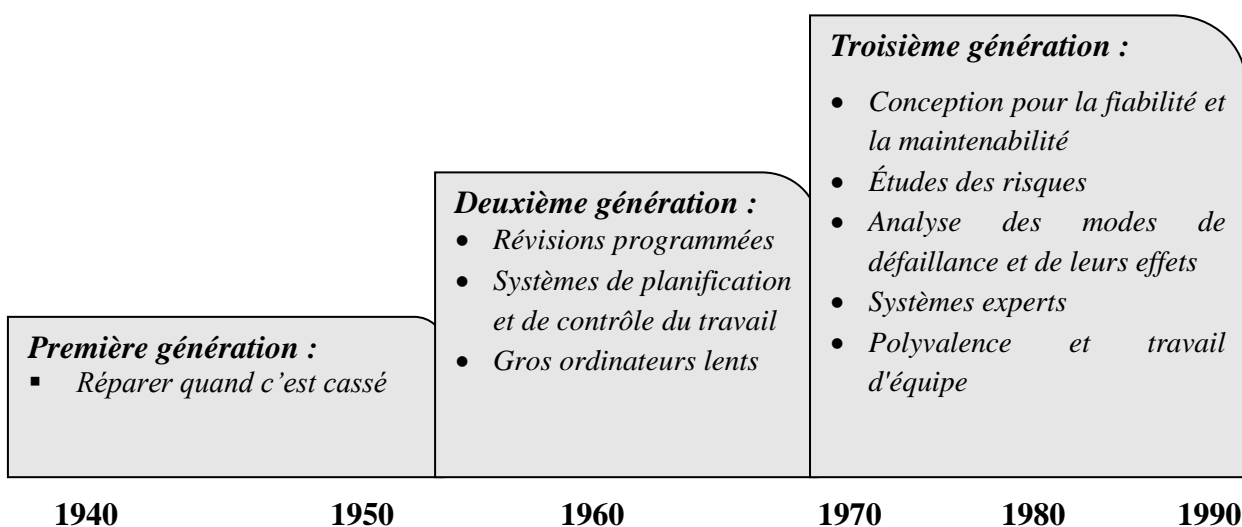


Figure I.3 : Développement des systèmes administratifs [1]

I.2.3.4 Défis de la maintenance

Les principaux défis auxquels sont confrontés les gestionnaires de maintenance modernes, sont :

- Comment sélectionner les techniques de maintenances les plus appropriées ?
- Comment traiter chaque type de processus de défaillance ?
- Comment répondre à toutes les attentes des entreprises de manière la plus rentable et la plus durable avec le soutien actif et la coopération de toutes les personnes impliquées ?

Pour répondre rapidement et simplement à ces défis, la RCM est apparût comme une nouvelle philosophie qui fournit aux gestionnaires modernes de maintenance un cadre de réponse adéquat. Elle le fait parce qu'elle ne perd jamais de vue le fait que la maintenance concerne les actifs physiques. Si ces actifs n'existaient pas, la fonction de maintenance elle-même n'existerait pas.

RCM commence donc par un examen complet, à base zéro, des besoins en maintenance de chaque actif dans son contexte d'exploitation. Cela se traduit par le développement de structures d'organisation, le déploiement de ressources et la mise en place de systèmes sur la base d'hypothèses incomplètes ou incorrectes sur les besoins réels des actifs. D'un autre côté, si ces exigences sont définies correctement à la lumière de la pensée moderne, il est possible de réaliser des changements tout à fait remarquables dans l'efficacité et l'efficacité de la maintenance.

I.3. CONCEPT DE LA RCM

I.3.1. Origines

I.3.1.1 Origines de la RCM 1

Avec l'arrivée de l'avions gros-porteur Boeing 747, les compagnies aériennes américaines ont réalisé que leur activité de maintenance nécessiterait des changements considérables en raison d'une forte augmentation des coûts de maintenance programmés [2]. En 1968, les opérateurs aériens ont organisé conjointement un groupe d'étude pour développer une méthodologie pour résoudre le problème. Le groupe s'appelait Maintenance Steering Group No. 1 (MSG1). [3] Les documents résultants, MSG1, [4] MSG2, [5] et MSG3, [6] sont apparus en 1968, 1970 et 1980, respectivement. [7] Le terme « maintenance centrée sur la fiabilité » est apparu pour la première fois comme le titre d'un rapport sur les processus utilisés par l'industrie de l'aviation civile pour préparer les programmes de maintenance des aéronefs. [1,8] Le rapport, préparé par United Airlines, a été commandé par le département américain de la Défense en 1974. [9] L'histoire de RCM 1 est décrite en détail dans les références [1] à [12].

I.3.1.2 Origines de la RCM 2

En 1978, **Stanley Nowlan** et **Howard Heap**, à la demande du département américain de la Défense, ont rédigé un rapport intitulé *RCM Reliability Centered Maintenance* qui introduit pour la première fois ce nouveau concept de stratégie de maintenance. Leur méthode concernait principalement le secteur de l'aviation commerciale civile compte tenu de leurs compétences dans la maintenance de la flotte des avions de la compagnie United Airlines. Après la disparition de **Heap**, peu après la parution de ce rapport essentiel, **Nowlan** entreprit des études pour enrichir sa méthode RCM.

En 1983, il commença sa collaboration avec **John Moubray** pour adapter à l'industrie la méthode originelle RCM de Nowlan et Heap (noté RCM 1). Leurs travaux ont donné le jour à la méthode de maintenance basée sur la fiabilité appelée RCM 2. **John Moubray** créa ensuite sa société **Aladon Limited** en 1986 et Aladon LLC aux États-Unis pour proposer des services et de la formation avec la RCM 2. Leur collaboration se poursuivit jusqu'à la disparition de **Stanley Nowlan** en 1995.

La RCM 2 définit les procédures de maintenance pour satisfaire des objectifs en termes de risque (sécurité et environnement), de qualité, de contrôle, de coûts, du service client, etc. [13]

I.3.2 Définition de la RCM

Lorsqu'un gestionnaire de maintenance entreprend de maintenir un bien, il doit se poser les questions suivantes :

- *Qu'est-ce qu'on souhaite faire perdurer ?*
- *Quel est l'état existant qu'on souhaite préserver ?*

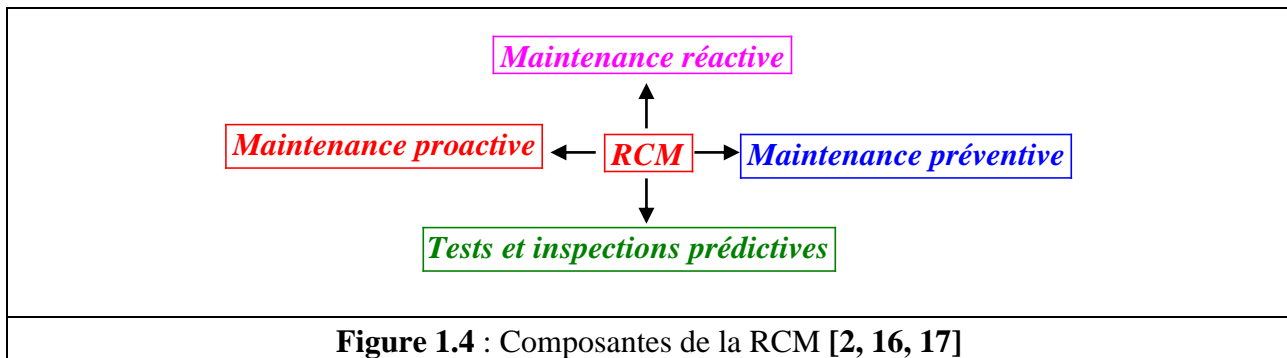
La réponse à ces questions peut être trouvée dans le fait que chaque bien physique est mis en service parce que quelqu'un veut qu'il fasse quelque chose. En d'autres termes, on attend qu'il remplisse une ou plusieurs fonctions spécifiques. Il s'ensuit que lorsqu'un bien est maintenu en état, l'état que nous souhaitons préserver doit être celui dans lequel il continue à faire ce que ses utilisateurs veulent qu'il fasse. Ce qui conduit à la définition de la maintenance : *s'assurer que les actifs physiques continuent de faire ce que leurs utilisateurs veulent qu'ils fassent.*

Cependant, ce que les utilisateurs veulent dépendra du contexte d'exploitation (c'est-à-dire du lieu exact où le bien est utilisé et de la manière dont il est utilisé.

Cela conduit à la définition formelle suivante de la RCM : "*Processus utilisé pour déterminer les exigences de maintenance de tout actif physique dans son contexte opérationnel.*" [1]

I.3.3 Composantes de la RCM

Les principales composantes types de la RCM sont présentées à la **figure 1.4**. Il s'agit de [2] : La maintenance réactive, la maintenance préventive, les tests et inspections prédictifs (TIP) et la maintenance proactive.



I.3.3.1 Maintenance réactive

Ce type de maintenance est également connu sous le nom de maintenance corrective. Dans cette philosophie de maintenance, la réparation, l'entretien ou le remplacement des équipements n'a lieu que lorsque la détérioration de l'état d'un élément ou d'un équipement entraîne une défaillance fonctionnelle. Dans ce type de maintenance, on part du principe que toute pièce, tout composant ou tout système a la même probabilité de connaître une défaillance. Lorsque la maintenance réactive est pratiquée uniquement, on observe généralement un remplacement important des stocks de pièces, une mauvaise utilisation des efforts de maintenance et un pourcentage élevé d'activités de maintenance non planifiées. En outre, un programme de maintenance entièrement réactif ne tient pas compte des possibilités d'influencer la capacité de survie de l'équipement ou de l'article. [16]

I.3.3.2. Maintenance préventive

La maintenance préventive (MP), également appelée maintenance en fonction du temps ou des intervalles, est effectuée sans tenir compte de l'état de l'équipement. Elle consiste en des inspections périodiques, le remplacement de pièces, la réparation de composants/éléments, des réglages, un étalonnage, une lubrification et un nettoyage. La maintenance programmée prévoit des inspections et des entretiens réguliers à des intervalles déterminés afin de réduire les défaillances des équipements sensibles. Il est important de noter que, selon les intervalles prédéfinis, la pratique de la MP peut entraîner une augmentation significative des inspections et de la maintenance de routine. En revanche, elle peut contribuer à réduire la fréquence et la gravité des défaillances imprévues. La maintenance préventive peut être coûteuse et inefficace si elle est le seul type de maintenance pratiqué. [2]

1° Détermination de la périodicité des tâches de maintenance et de surveillance

Bien qu'il existe de nombreuses façons de déterminer la périodicité correcte des tâches de maintenance, aucune n'est valable tant que l'on ne connaît pas les caractéristiques d'âge et de fiabilité en service de l'élément concerné par les tâches souhaitées. En général, ce type d'information n'est pas disponible, mais il doit être obtenu pour les nouveaux articles/équipements. L'expérience passée montre que les techniques de test et d'inspection prédictifs (TIP) sont utiles pour déterminer l'état d'un article ou d'un équipement en fonction de son âge. Souvent, le paramètre du temps moyen entre les défaillances (MTBF) est utilisé comme base pour déterminer l'intervalle de maintenance. Cette approche est considérée comme erronée car elle ne fournit pas d'informations sur l'effet de l'augmentation de l'âge sur la fiabilité de l'article. Plus précisément, cette approche fournit l'âge moyen auquel une défaillance se produit, mais pas l'âge le plus probable pour l'article considéré. En l'absence d'informations suffisantes sur l'effet de l'âge sur la fiabilité, l'approche la plus appropriée consisterait à surveiller l'état de l'article. [16]

2° Surveillance des équipements

Les principaux objectifs de la surveillance de l'état d'un élément ou d'un équipement sont de déterminer l'état de l'élément ou de l'équipement et d'établir une tendance pour prévoir l'état futur de l'élément ou de l'équipement. Les approches suivantes sont utiles pour définir la périodicité initiale [2] :

- **Anticipation des défaillances à partir de l'expérience passée** : Dans certains cas, l'historique des défaillances de l'équipement et l'expérience personnelle peuvent fournir, dans une certaine mesure, un sentiment intuitif quant au moment où l'on peut s'attendre à une défaillance.
- **Statistiques de distribution des défaillances** : La distribution des défaillances et la probabilité de défaillance doivent être connues lorsque des statistiques sont utilisées pour déterminer la base de sélection des périodicités.
- **Approche conservatrice** : La pratique courante dans le secteur industriel consiste à surveiller l'équipement tous les mois ou toutes les semaines en l'absence de bonnes méthodes de surveillance et d'informations adéquates. Cela conduit souvent à une surveillance excessive. Dans les situations où une défaillance imminente devient évidente grâce à l'utilisation de tendances ou d'autres techniques d'analyse prédictive, l'intervalle de surveillance peut être raccourci.

I.3.3.3. Test et inspections prédictifs (TIP)

Les tests et inspections prédictifs TIP sont parfois appelés surveillance de l'état ou maintenance prédictive. Pour évaluer l'état d'un article ou d'un équipement, ils utilisent des données de performance, des techniques d'essai non intrusives et une inspection visuelle. Les TIP remplacent les tâches de maintenance arbitrairement programmées par une maintenance effectuée en fonction de l'état de l'article ou de l'équipement. L'analyse en continu des données de surveillance de l'état de l'élément ou de l'équipement est utile pour planifier et programmer la maintenance ou la réparation avant une défaillance catastrophique ou fonctionnelle. Les données TIP collectées sont utilisées pour déterminer l'état de l'équipement et mettre en évidence les signes avant-coureurs d'une défaillance de plusieurs manières, notamment par la reconnaissance de modèles, l'analyse des tendances, la corrélation de technologies multiples, la comparaison de données, l'analyse statistique des processus et les tests par rapport à des limites et des plages de valeurs. Les TIP ne doivent pas être le seul type de maintenance pratiqué, car ils ne se prêtent pas à tous les types d'articles/équipements ou à tous les modes de défaillance possibles. [2]

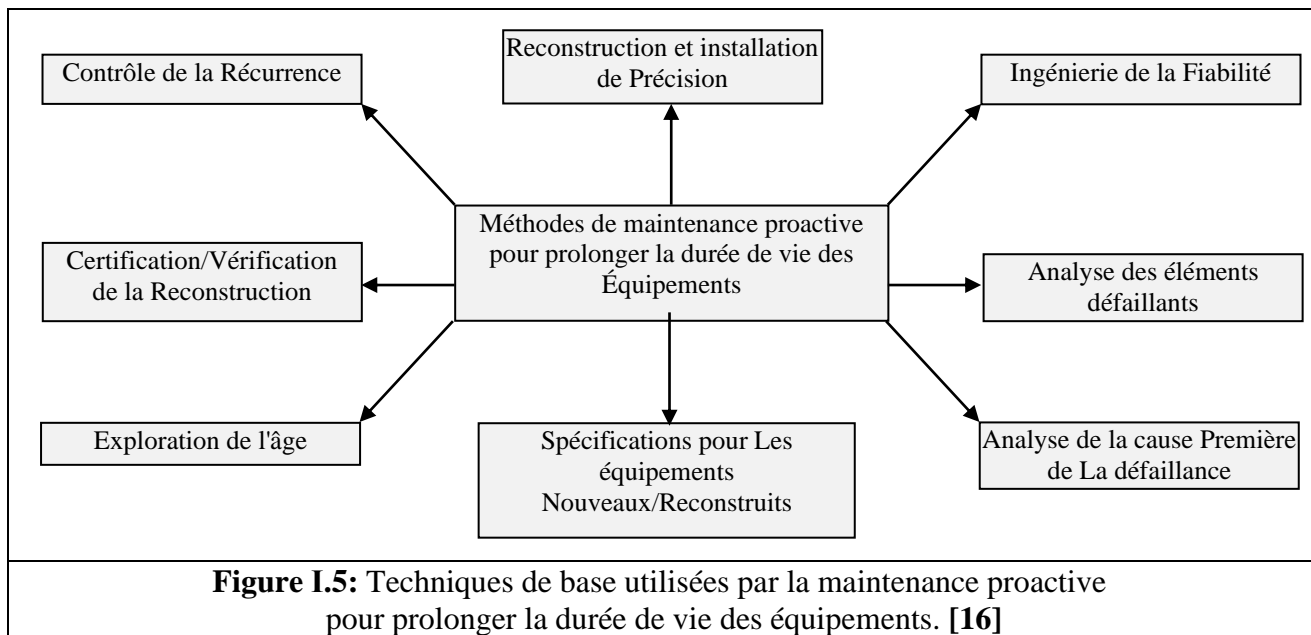
I.3.3.4. Maintenance proactive

Ce type de maintenance permet d'améliorer la maintenance par des actions telle qu'une meilleure procédure de conception, de fabrication, d'installation, de planification et de maintenance.

Les caractéristiques de la maintenance proactive incluent la pratique d'un processus d'amélioration continue, l'utilisation de la rétroaction et des communications pour s'assurer que les changements de conception/procédures sont efficacement mis à la disposition des concepteurs/gestionnaires d'articles, en veillant à ce que rien affectant la maintenance s'effectue dans un isolement total, dans le but ultime de corriger les équipements concernés pour toujours, en optimisant et en adaptant les méthodes et technologies de maintenance à chaque application.

Il effectue une analyse des causes profondes des défaillances et des prévisions analyse pour améliorer l'efficacité de la maintenance, procède à une évaluation périodique de contenu technique et intervalle d'exécution des tâches de maintenance, intègre des fonctions avec la maintenance de support dans la planification du programme de maintenance, et utilise un cycle de vie vue des fonctions de maintenance et de support. [16]

La **figure I.5** présente huit méthodes de bases utilisées par la maintenance proactive pour prolonger la durée de vie des équipements.



I.3.4 Attentes de la RCM

Un programme RCM bien mis en œuvre peut contribuer à fixer des attentes réalistes à différents niveaux.

I.3.4.1 Définir des aspirations réalistes

Il fournira des informations sur la maintenance nécessaire tout au long du cycle de vie du bien d'équipement en créant un plan de maintenance optimal. En retour, cela permet également de maintenir des activités budgétaires réalistes et de prendre de l'avance sur la planification des remplacements nécessaires à terme.

I.3.4.2 Fournir des informations sur les risques de l'entreprise

Un programme RCM fournira de nombreuses données, en particulier sur les niveaux de risque. Si ces informations sont utilisées correctement, elles peuvent être utiles pour toute une série de tâches. Elles peuvent notamment aider à identifier les domaines dans lesquels on doit augmenter ou réduire l'activité de maintenance, en fonction des risques. Il s'agit d'une pratique importante qui peut aider à assurer que l'attention est focalisée sur les bons processus et équipements. Cela peut avoir un impact significatif sur les processus plus importants, pour lesquels il n'est pas réaliste d'investir le même temps et le même budget pour la maintenance de chaque partie du système.

I.3.4.3 Améliorer les relations avec les tiers de l'entreprise

Si le plan de maintenance est conforme à la mission et à la vision de l'entreprise, on peut s'attendre à une amélioration des relations avec les clients, les voisins et même le gouvernement.

I.3.4.4 Gérer les risques associés à l'environnement, la santé et la sécurité

Il existe plusieurs avantages liés à la santé et à la sécurité. Par exemple, une gestion des risques bien mise en œuvre peut réduire l'empreinte du gaz carbonique de l'entreprise. Elle contribuera également à réduire les risques pour la santé des employés. En surveillant et en entretenant efficacement les biens d'équipement et des processus, on peut éviter les fuites qui pourraient nuire à l'environnement et d'autres défaillances qui pourraient être catastrophiques pour les opérateurs et les équipes de travail.

I.3.4.5 Fournir des données quantitatives sur la réduction des risques

En comparant la réduction des risques au coût de la maintenance, il est possible d'évaluer quantitativement la valeur de la maintenance préventive. Il s'agit dans ce cas de données précieuses qu'on peut utiliser pour toute une série d'analyses ultérieures.

I.3.4.6 Prévenir la perte de connaissances essentielles

La RCM exige la documentation de la dégradation dans un scénario, ce qui permet aux employés de mieux comprendre pourquoi certains travaux de maintenance sont nécessaires. Cela permet d'éviter la perte de connaissances importantes et d'éduquer davantage le personnel.

I.3.4.7 Réduire les coûts globaux

En identifiant où les efforts doivent être concentrés, on évite de dépenser trop d'argent en maintenance inutile, tout en prévenant des dysfonctionnements coûteux et en assurant la sécurité des employés.

I.3.4 Bénéfices de la RCM

L'application d'une approche RCM comporte de nombreux avantages, notamment [1,18] :

- L'amélioration de la sécurité et de la protection de l'environnement,
- L'amélioration de la qualité des produits,
- L'amélioration de la durée de vie utile des équipements à forte valeur ajoutée,
- Fourniture d'une base de données sur la maintenance,
- L'amélioration du travail d'équipe,
- L'amélioration de la rentabilité de la fonction maintenance,
- Génère une plus grande motivation des individus et une disponibilité
- Assure une fiabilité plus élevées des équipements.

I.4. NOTIONS RELATIVES À LA RCM

Avant de définir la RCM il est préférable de définir quelques notions relatives à la RCM

I.4.1 Notion de fonction

La première étape du processus RCM consiste à définir les fonctions de chaque bien dans son contexte opérationnel, ainsi que les normes de performance souhaitées qui y sont associées. Les fonctions que les maintenanciers attendent des biens peuvent être divisées en deux catégories :

les fonctions primaires, qui résument la raison pour laquelle le bien a été acquis en premier lieu. Cette catégorie de fonctions couvre des aspects tels que la vitesse, le rendement, la capacité de transport ou de stockage, la qualité du produit et le service à la clientèle.

- les fonctions secondaires, qui reconnaissent que l'on attend de chaque bien qu'il fasse plus que remplir ses fonctions primaires. Les maintenanciers ont également des attentes dans des domaines tels que la sécurité, le contrôle, le confinement, le confort, l'intégrité structurelle, l'économie, la protection, l'efficacité du fonctionnement, la conformité aux réglementations environnementales et même l'apparence de l'actif [10].

I.4.2. Notion de fiabilité

La fiabilité d'un composant exprime la probabilité qu'il fonctionne correctement sans défaillance pendant un temps déterminé dans des conditions fixées de manière précise [10].

La définition de la fiabilité montre bien que son domaine englobe les probabilités, donc les statistiques et les mathématiques. Il faut avoir aussi conscience qu'un phénomène de fiabilité ne peut se réduire à l'application de lois statistiques. Une étude de fiabilité nécessite obligatoirement une expertise physique des organes ou des composants étudiés et elle peut être élargie à tous ceux qui leur sont liés.

Apprendre la fiabilité, c'est déjà comprendre le besoin de qualité de retour d'expérience et savoir organiser la collecte des informations.

On doit aussi garder à l'esprit que les statistiques ne s'appliquent qu'à des phénomènes aléatoires donc au hasard. Or un composant ou un équipement font partie d'un système qui est soumis à un grand nombre de contraintes dont les causes appartiennent à deux familles différentes :

- **Causes communes ou aléatoires** : dues au hasard, fréquentes et à effet individuel faible, elles sont d'origines nombreuses et variées, indépendantes les unes des autres et aucune d'entre elles n'étant prépondérante tel que le spectre des contraintes subies par un composant.

- **Causes spéciales** : elles sont soudaines, peu fréquentes, issues d'événements passagers peu nombreux et difficilement identifiables telles que : erreurs de manipulation, mauvais montages ou réglages et pièces de mauvaise qualité.

On ne peut faire des prévisions rationnelles relatives à la fiabilité d'un équipement que s'il est dans un état stable ou sous contrôle statistique lorsqu'on a supprimé dans celui-ci toutes les causes spéciales.

I.5.1.1. Définition selon la norme ISO/CEI 2382-14

Aptitude d'une unité fonctionnelle à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, pendant un intervalle de temps donné.

- **Probabilité** : c'est le rapport : nombre de cas favorables / nombre de cas possible < 1 dans l'hypothèse d'équiprobabilité. On notera $R(t)$ la probabilité de bon fonctionnement à l'instant (t) , le symbole "R" a pour origine le mot anglais (reliability).

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

- **Fonction requise** : fonction requise pour un composant de « mission » ou « service attendu » pour un système.

La définition de la fonction requise implique la définition d'un seuil d'admissibilité au-delà duquel la fonction n'est plus remplie.

- **Conditions d'utilisation** : définir les conditions d'usage revient à définir l'environnement du système et ses variations, ainsi que les contraintes mécaniques, chimiques vibratoires, thermiques etc.... auxquelles il est soumis. Il est évident que le même matériel soumis à deux environnements différents n'aura pas la même fiabilité.

- **Période, temps** : c'est la définition de la durée de mission "T", mais à chaque instant (t_i) est associée une valeur de fiabilité $R(t_i)$ décroissante.[10]

I.5.1.2. Fiabilité et qualité

Ces notions sont indissociables. Si la qualité est prise dans son sens général de « satisfaction » du besoin des utilisateurs, il est évident que la fiabilité est un élément de la satisfaction de l'utilisateur. La fiabilité c'est la probabilité de bon fonctionnement.

Si la qualité est prise dans le sens « qualité initiale », nous pourrions dire que la qualité initiale garantit la conformité d'un produit à ses spécifications, alors que la fiabilité mesure son aptitude à y demeurer conforme le long de sa vie utile.

La fiabilité est l'extension de la qualité initiale dans le temps. Il n'y a pas de bonne fiabilité sans bonne qualité.

I.4.2. Notion de défaillance

Définition de la défaillance selon la norme ISO/CEI 2382-14: « Cessation de l'aptitude d'une unité fonctionnelle à accomplir une fonction requise. ».

Synonymes usuels non normalisés : « failure » (anglais), dysfonctionnement, dommages, dégâts, anomalies, avaries, incidents, défauts, pannes, détériorations.

▪ **Une défaillance peut être :**

- **Partielle :** s'il y a altération d'aptitude du bien à accomplir sa fonction requise.
- **Complète :** s'il y a cessation d'aptitude du bien à accomplir sa fonction requise.
- **Intermittente :** si le bien retrouve son aptitude au bout d'un temps limité sans avoir subi d'action corrective externe.

I.5.2.1. Mode de défaillance

Façon par laquelle est constatée l'incapacité d'un bien à remplir une fonction requise. C'est donc le processus qui, à partir d'une cause intérieure ou extérieure au bien, entraîne la défaillance du bien considéré.

Le mode de défaillance est relatif à une fonction.

De façon très générale, un mode de défaillance à un des 4 effets suivants sur un système :

- a. Fonctionnement prématuré ;
- b. Ne fonctionne pas au moment prévu ;
- c. Ne s'arrête pas au moment prévu ;
- d. Défaillance en fonctionnement.

Il est cependant impossible d'effectuer une analyse concluante en vue d'un diagnostic avec une liste aussi généraliste. Il est donc nécessaire de développer cette liste, et surtout le point N°4 relatif aux défaillances en fonctionnement.

Pour les 6 domaines technologiques (mécanique, électrotechnique, électromagnétisme, hydraulique, thermodynamique, chimie), on recense plus d'une centaine de modes de défaillance en fonctionnement spécifiques et propres à chacune des disciplines.

Un mode de défaillances s'exprimera donc par la manière dont un système viendra à ne plus remplir sa fonction. Il s'exprimera en termes physiques : rupture, desserrage, coincement, court-circuit, etc.

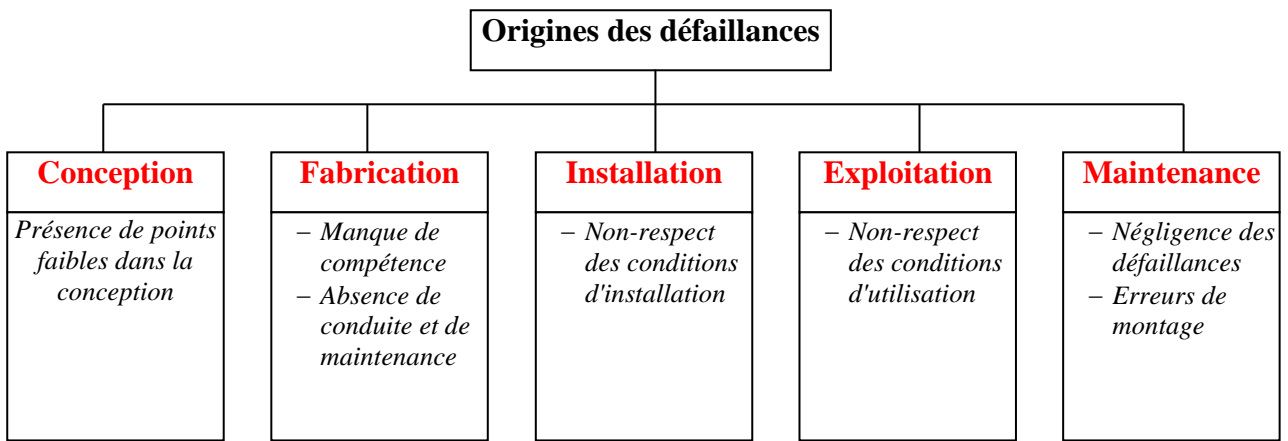


Figure I.6 : Causes des défaillances

LE PROCESSUS DE LA RCM

La RCM est un processus systématique utilisé pour déterminer ce qui doit être accompli pour s'assurer que toute installation physique est en mesure de remplir en permanence ses fonctions conçues dans son contexte d'exploitation actuel. [14]

RCM conduit à un programme de maintenance qui concentre la maintenance préventive (MP) sur des modes de défaillance spécifiques susceptibles de se produire. Toute organisation peut bénéficier du RCM si ses défaillances représentent plus de 20 à 25 % de la charge de travail totale de maintenance. [15]

Le processus RCM consiste à poser sept questions sur l'actif ou le système à étudier, comme suit :

- Quelles sont les fonctions et les normes de performance associées à l'actif dans son contexte opérationnel actuel ?
- De quelle manière ne parvient-il pas à remplir ses fonctions ?
- Quelles sont les causes de chaque défaillance fonctionnelle ?
- Que se passe-t-il lorsque chaque défaillance se produit ?
- Dans quelle mesure chaque défaillance est-elle importante ?
- Que peut-on faire pour prévoir ou prévenir chaque défaillance ?
- Que faire si une tâche proactive appropriée ne peut être trouvée ?

Tableau I.1 : Le processus de la RCM

1. Fonctions de service du bien matériel	- Identifier ce que le bien matériel fait et non ce qu'il est. - Identifier les performances attendues du bien matériel dans son contexte d'exploitation actuel
2. Défaillances fonctionnelles du bien matériel	- Documenter les modes dont le bien peut ne pas accomplir ses fonctions
3. Modes de défaillance	- Déterminer la/les manières dont le système peut s'arrêter de fonctionner
4. Effet De La Défaillance	- Détailler ce qui se passe si rien n'est fait pour prévoir ou prévenir chaque mode de défaillance
5. Conséquence De La Défaillance	- Déterminer l'importance de chaque mode
6. Maintenance Proactive Et Intervalles	- Déterminer si la maintenance conditionnelle ou préventive est techniquement appropriée et si elle vaut la peine d'être effectuée
7. Les Stratégies Par Défaut	- Déterminer s'il existe d'autres actions appropriées

Étape 1 : Fonctions

L'objectif de la RCM est de déterminer les solutions à mettre en place pour s'assurer qu'un bien répond aux exigences de l'entreprise. Les accidents de travail et les indisponibilités des machines illustrent à quel point il est essentiel de comprendre ce que l'on attend d'un actif afin de pouvoir déterminer si cet actif est capable de répondre à ces exigences. C'est pourquoi la première étape du processus RCM consiste à identifier les fonctions de service du bien matériel.

Étape 2 : Défaillances fonctionnelles

Les objectifs de la maintenance sont définis par les fonctions de services et les performances attendues du bien matériel considéré. Mais comment la maintenance permet-elle d'atteindre ces objectifs ? Le seul événement susceptible d'empêcher un bien de fonctionner selon les normes exigées par ses utilisateurs est une défaillance quelconque. Cela suggère que la maintenance atteint ses objectifs en adoptant une approche appropriée de la gestion des défaillances.

Toutefois, avant de pouvoir appliquer un ensemble approprié d'outils de gestion des défaillances, on doit identifier les défaillances susceptibles de se produire :

- tout d'abord, en identifiant les circonstances qui équivalent à un état de défaillance
- ensuite, en se demandant quels événements peuvent amener le bien à se trouver dans un état de défaillance.

Étape 3 : Modes de défaillance

Un mode de défaillance est ce qui provoque une défaillance fonctionnelle. Au cours de l'étape 3 du processus RCM, les modes de défaillance à l'origine de chaque défaillance fonctionnelle sont identifiés. On croit souvent à tort que tous les modes de défaillance associés au système analysé doivent être enregistrés. Au contraire, le RCM fournit des lignes directrices spécifiques pour déterminer les modes de défaillance à inclure dans une analyse. Seuls les modes de défaillance qui sont raisonnablement susceptibles de se produire dans le contexte opérationnel doivent être inclus dans le contexte opérationnel.

Si la réponse à une ou plusieurs des questions suivantes est "oui", le mode de défaillance doit être inclus dans l'analyse :

- Le mode de défaillance s'est-il déjà produit ?
- Si le mode de défaillance ne s'est pas produit, est-ce une possibilité réelle ?
- Le mode de défaillance a-t-il peu de chances de se produire, mais ses conséquences sont graves ?
- Le mode de défaillance est-il actuellement géré au moyen d'une proactive ?

Les modes de défaillance inclus dans la plupart des analyses consistent en des causes typiques telles que celles dues à l'usure, à l'érosion, à la corrosion, etc.

Cependant, il est très important d'inclure des modes de défaillance qui couvrent des questions telles que l'erreur humaine, les manuels techniques incorrects, la conception inadéquate de l'équipement et l'absence de procédures d'urgence.

Ces modes de défaillance permettent d'analyser les problèmes dans le cadre du processus de la RCM de sorte que des solutions peuvent être élaborées en plus de la maintenance proactive.

Étape 4 : Effets de la défaillance

Au cours de l'étape 4, un effet de défaillance est rédigé pour chaque mode de défaillance. Un effet de défaillance est une brève description de ce qui se produirait si rien n'était fait pour prévoir ou prévenir le mode de défaillance. Les effets de défaillance doivent être rédigés de manière suffisamment détaillée pour que les conséquences de la défaillance puissent être identifiées lors de l'étape suivante du processus de gestion des risques.

Les effets de défaillance doivent inclure :

- Description du processus de défaillance depuis l'apparition du mode de défaillance jusqu'à la défaillance fonctionnelle.
- Preuve physique que la défaillance s'est produite
- Comment l'apparition du mode de défaillance affecte-t-elle négativement la sécurité et/ou l'environnement ?
- Comment l'apparition du mode de défaillance affecte la capacité opérationnelle/la mission.

- Restrictions d'exploitation spécifiques résultant du mode de défaillance.
- Dommages secondaires.
- Quelles sont les réparations nécessaires et combien de temps elles devraient de réparation.

Étape 5 : Conséquences de la défaillance

Un effet de défaillance correctement rédigé permet d'évaluer la conséquence de la défaillance.

Une conséquence de défaillance décrit l'importance de la perte de fonction causée par le mode de défaillance.

Il existe quatre catégories de conséquences de défaillance :

- Sécurité
- L'environnement
- Opérationnel
- Non opérationnel

Étape 6 : Maintenance proactive et intervalles associés

Une fois les conséquences évaluées, l'étape suivante du processus RCM consiste à envisager la maintenance proactive comme stratégie de gestion des défaillances.

La stratégie de maintenance proactive est une stratégie supérieure qui est appliquée pour réduire les temps d'arrêt planifiés et non planifiés des équipements. Son objectif est de permettre aux actifs physiques de fonctionner pendant des périodes prolongées sans arrêts inutiles, en raison des attributs de fiabilité inhérents à l'actif. L'affichage comparatif des principes des différentes formes de stratégies de maintenance est illustré ci-dessous et le point le plus important est l'intervalle de temps d'arrêt planifié le plus long obtenu dans le cadre de la maintenance proactive par rapport à d'autres concepts.

Étape 7 : Stratégies par défaut

Comme nous l'avons déjà mentionné, le RCM ne se limite pas à la maintenance.

Il existe un grand nombre de solutions autres que la maintenance proactive qui peuvent être dérivées du processus RCM. En voici quelques exemples : Les tâches de recherche de défaillance, les contrôles de procédure, l'absence de maintenance programmée et d'autres recommandations telles que les modifications des procédures d'exploitation, les mises à jour des publications techniques et les reconceptions d'équipement. Dans le contexte du RCM, ces recommandations sont connues sous le nom de stratégies par défaut.

Tableau I.2 : Processus général de L'AMDEC

1. Fonctions de service du bien matériel	- Identifier ce que le bien matériel fait et non ce qu'il est. - Identifier les performances attendues du bien matériel dans son contexte d'exploitation actuel
2. Défaillances fonctionnelles du bien matériel	- Documenter les modes dont le bien peut ne pas accomplir ses fonctions
3. Modes de défaillance	- Déterminer la/les manières dont le système peut s'arrêter de fonctionner
4. Effet De La Défaillance	- Détailler ce qui se passe si rien n'est fait pour prévoir ou prévenir chaque mode de défaillance
5. Conséquence De La Défaillance	- Déterminer l'importance de chaque mode

En outre, les cinq premières étapes du processus RCM génèrent une AMDEC. Les étapes de la réalisation d'une AMDEC sont illustrées dans la figure I.8. Lorsque le RCM est mis en œuvre, l'exigence d'une AMDEC est largement satisfaite.

I.5 CONCLUSION

- Dans ce chapitre, il a été question de l'une des philosophies de la maintenance moderne à savoir la maintenance centrée sur la fiabilité. En premier lieu une brève introduction à la RCM a été fournie, suivi par un aperçu sur l'évolution de la maintenance. En deuxième lieu a été présenté le concept de la RCM ainsi que le processus de sa mise en œuvre.
- Ainsi, au terme de ce chapitre, on peut dire que la maintenance basée sur la fiabilité apparaît comme une approche essentielle pour assurer la disponibilité et la performance optimale des équipements industriels. en utilisant des techniques de surveillance avancées et une analyse prédictive, cette approche permet d'anticiper les défaillances, de minimiser les temps d'arrêt imprévus et d'optimiser l'utilisation des ressources. en plus, si elle est correctement mise en œuvre, la RCM transforme les relations entre les entreprises qui l'utilisent, leurs actifs physiques existants et les personnes qui exploitent et entretiennent ces actifs.
- Elle permet également la mise en service efficace de nouveaux actifs avec une grande rapidité, confiance et précision.

Chapitre 2

COMPRENDRE LA TURBINE MS 3002 : NOTIONS DE BASE ET FONCTIONNEMENT

II.1. INTRODUCTION

Ce chapitre fournit un aperçu détaillé de cette technologie remarquable. La Turbine MS 3002 est un produit unique qui incarne les avancées modernes en matière de puissance et d'ingénierie. Il se caractérise par des performances, une efficacité énergétique et une polyvalence supérieure.

Ce chapitre passe en revue les principales caractéristiques de la turbine MS 3002, ses applications et ses avantages. En divisant cette turbine en des sections, nous examinons de plus près son fonctionnement interne, en examinant les différentes parties qui le composent et comment elles fonctionnent ensemble pour entraîner un compresseur centrifuge. En outre, des spécifications techniques clés telles que les performances, l'efficacité et la durabilité des turbines sont discutées.

II.2. PRESENTATION DE LA TURBINE MS 3002

II.2.1. Définition d'Une Turbine à Gaz

C'est une machine motrice et tournante, capable de convertir continuellement l'énergie thermique en énergie mécanique,

- Elle délivre des grandes vitesses de rotation
- Capable d'entraîner
 - Générateurs de courant électrique
 - Compresseurs et pompes

Leur puissance s'étend de 5MW jusqu'à 500MW

L'efficacité elle peut aller de 35% à 40% elle Utilise une grande variété de combustible ce forme gaz au liquide.

II.2.2. Classifications des turbines : on peut les classer en 2 modèles :

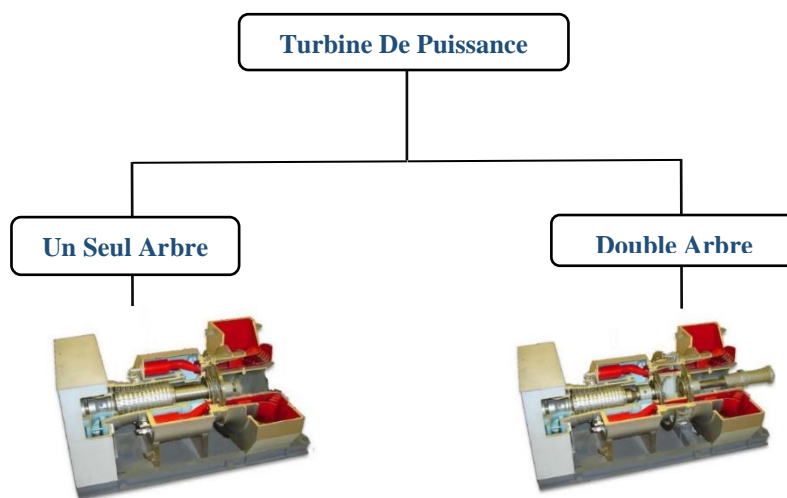


Figure II.1 : Classification des turbines

II.2.3. Configurations De La Turbine

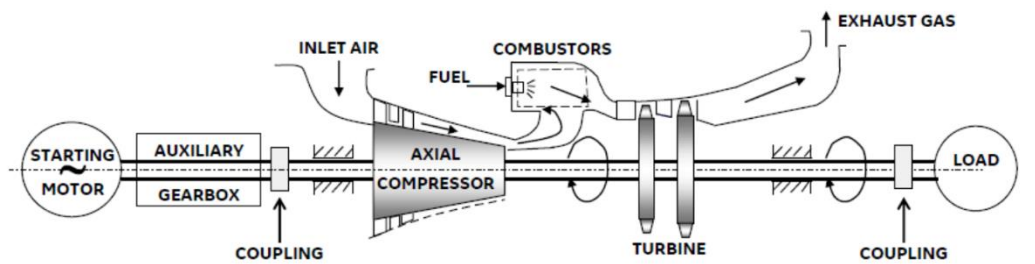


Figure 0.2 : Configuration D'une TAG Un Seul Arbre

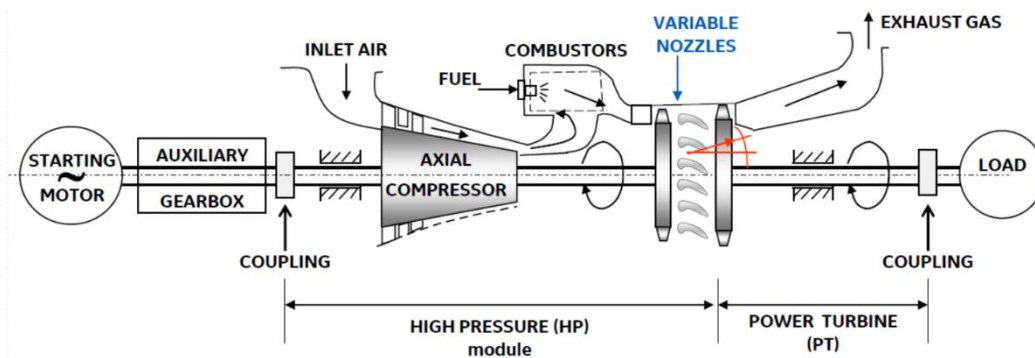


Figure II.3 : Configuration D'une TAG Double Arbre

- La turbine haute pression fonctionne à une vitesse constante.
- La vitesse de turbine basse pression peut changer de 50-105% de sa vitesse nominale.
- Les directrices variables sont des aubes pivotantes permettant de répartir la puissance entre la turbine HP et BP

II.2.4. Description du fonctionnement

D'abord, le rotor de la turbine HP atteint 20% de la vitesse de rotation nominale grâce à un dispositif de lancement (turbine à détente). L'air aspiré de l'atmosphère dans le compresseur est envoyé à l'aide des tuyaux à la chambre de combustion ou le combustible est débité sous pression, une étincelle de haute tension allume le mélange air combustible. Après l'allumage, le combustible continuera d'être injecté dans les chambres et crée une flamme (combustion continue). Les gaz chauds font monter la vitesse du rotor turbine HP/compresseur qui à son tour fait augmenter la pression de refoulement du compresseur.

Quand la pression commence à monter, le rotor de la turbine BP commence à tourner et les deux arbres de la turbine accélèrent jusqu'à atteindre la vitesse de service. Les produits de la combustion se détendant d'abord à travers la roue haute pression ensuite à travers la roue basse pression, la rotation de l'arbre du compresseur entraîne les auxiliaires. A la détente BP, les gaz chauds font tourner l'arbre de puissance (ainsi que la charge) avant d'être évacué à l'atmosphère.

Quand on regarde du côté admission on voit que le rotor tourne en sens inverse des aiguilles d'une montre.

II.2.5. Les conditions d'utilisation ISO avec du gaz naturel

Tableau 1 : Les conditions ISO de la turbine MS 3002 avec du gaz naturel

Puissance de sortie	10.9 MW
Rendement	26.7 %
Chaleur spécifique	13 480 Kj / Kwh
Température T₃	943 °C
Vitesse de rotation HP	7 100 rpm
Vitesse de rotation BP	6 500 rpm
Flux d'échappement	52.3 Kg / s
Température d'échappement	526 ° C

II.2.6. Caractéristiques et avantages de la turbine à gaz MS3002

- Turbine à gaz à deux arbres spécialement conçus pour les applications d'entraînement mécanique
- Grande flexibilité, fiabilité et disponibilité opérationnelles éprouvées depuis plus de 30 ans
- Flexibilité du combustible dans une large gamme de gaz et de liquide.
- Large gamme de configurations utilisant les fonctionnalités standard pour répondre aux exigences de réduction des coûts
- Conçu et fabriqué pour une longue durée de vie avec une maintenance facile.

II.3. ANALYSE STRUCTURELLE DE LA TURBINE MS 3002

Pour mieux comprendre comment se fonctionne la MS 3002 et pour bien définir les parties qui seront susceptible à avoir une défaillance, il faudra qu'on la divise en multiples sections :

II.3.1. Section d'admission d'air

II.3.1.1. Objectif principale

Le système d'admission d'air reçoit de l'air atmosphérique entrant dans la turbine après filtration.

II.3.1.2. Fonctionnalités

- La gaine d'entrée surélevée limite l'aspiration de la poussière près du sol
- les modules de filtrage sont installés pour minimiser le taux d'impuretés.
- Unité de silencieux réduit le bruit produit par le flux d'air.

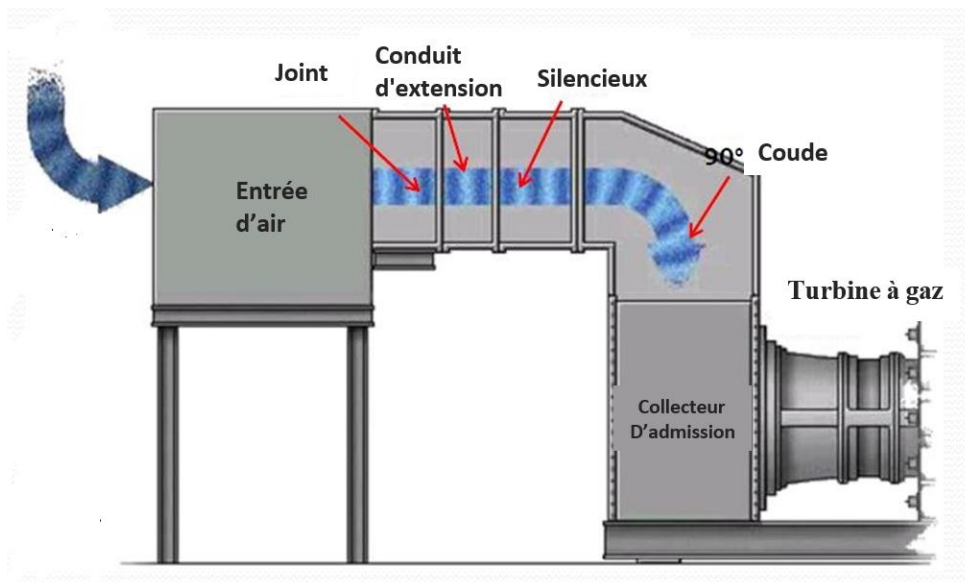


Figure II.4: Schéma générale de la partie section d'admission d'air

- **Ce système se compose de trois parties :**
- 1^{ère} partie : contient des filtres polynome avec des moteurs désableurs
- 2^{ème} partie : rideau bain d'huile
- 3^{ème} partie : filtres à air.

II.3.2. Section aéroréfrigérant

Ce système sert à refroidir l'huile de graissage, par le refroidissement de l'eau qui refroidit l'huile dans l'échangeur d'huile.

Des échangeurs d'huile sont installés pour refroidir l'huile de graissage, afin de limiter sa température et d'obtenir une lubrification correcte et un refroidissement adéquat des paliers.

Le processus de refroidissement de l'huile peut se dérouler de différentes manières :

L'eau provient d'une source naturelle disponible (mer, rivière, lac), circule dans des échangeurs de chaleur eau / huile pour absorber la chaleur de l'huile et, finalement, de l'eau chaude est rejetée à leur source.

L'eau est d'abord distribuée dans des échangeurs de chaleur pour absorber la chaleur de l'huile, puis acheminée dans un ou plusieurs échangeurs de chaleur air/eau.

Dans ces systèmes, l'huile est acheminée via des échangeurs de chaleur où elle est refroidie au moyen d'un ou plusieurs ventilateurs.

Ce système se compose de deux moteur/pompe (figure II.6), des chicanes formant un échangeur d'eau refroidi par deux ventilateurs (figure II.5).



Figure II.5 : Position des ventilateurs du système Aero réfrigérant



Figure II.6 : Vue d'ensemble du système Aero réfrigérant

II.3.3. Section lancement

Comme toute machine à combustion interne, une turbine à gaz ne peut pas produire de couple à vitesse nulle. Un dispositif de lancement doit être employé pour lancer la turbine pour sa mise en route.

A vitesse nulle, le couple nécessaire au décollage est très élevé à cause du frottement statique dans le système. Ce couple décroît rapidement lorsqu'un film de lubrification s'établissent pour des vitesses de quelques tours/minutes, puis le couple augmente à nouveau avec une vitesse croissante en raison de la puissance nécessaire pour entraîner le compresseur axial.

Pour environ 20 à 25% de la vitesse nominale, le débit d'air est suffisant pour avoir l'allumage par suite Il faut encore fournir un certain couple après l'allumage c'est l'accélération de la turbine, pour atteindre une vitesse d'autonomie allant de 45 à 80% de la vitesse nominale selon l'application.

Un dispositif de lancement doit remplir trois fonctions :

Fournir un couple élevé à une vitesse nulle pour effectuer le décollage de la turbine.

Entrainer la turbine jusqu'à une vitesse acceptable pour effectuer l'allumage.

Aider la turbine après l'allumage à atteindre la vitesse d'autonomie, après le dispositif de lancement il peut être débrayé de la turbine.

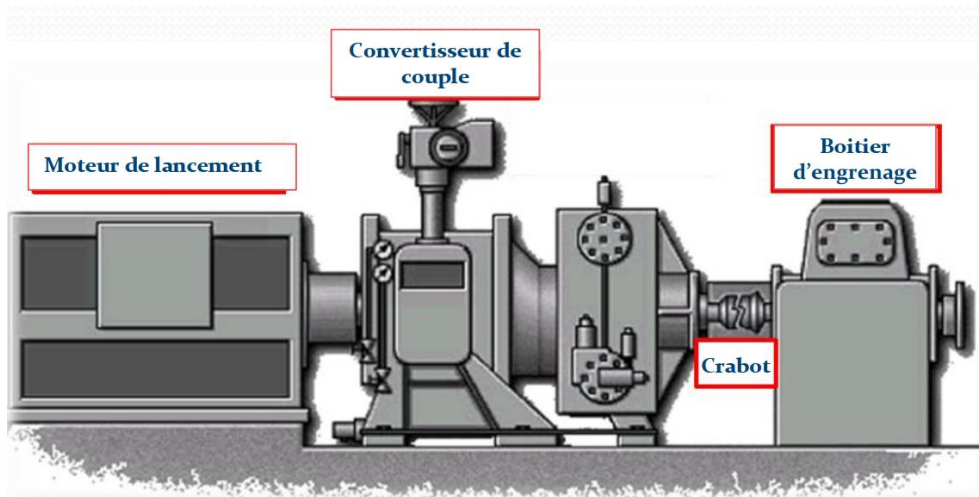


Figure II.7 : Système de lancement

II.3.3.1. Objectif principal

- un système de démarrage est nécessaire car la turbine à gaz ne peut ni démarrer ni accélérer seule

II.3.3.2. Caractéristiques

- le système de démarrage doit fournir un couple suffisant à la demande du rotor de la turbine à gaz.

II.3.4. Section compresseur axial Cette section se compose de

II.3.4.1. Section d'admission

La section d'admission dirige le flux d'air provenant du système d'aspiration dans la section du compresseur

Le carter d'admission d'air contient également :

- Les aubes directrices (fixes)
- Le boîtier de palier • Les aubes de stator des 6 premières étages du compresseur axiales.



Figure II.8 : Carter D'admission

II.3.4.2. Section compresseur axiale

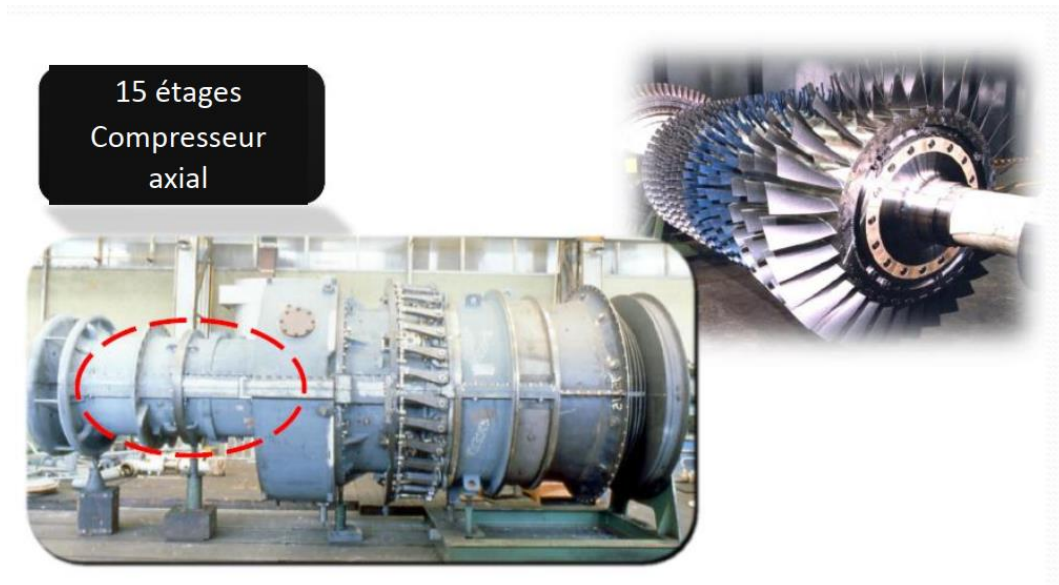


Figure II.9 : Compresseur axial

II.3.4.3. Caractéristiques

Le compresseur axial de la MS 3002 Comprends un nombre total d'étage de 15, une directrice fixe (IGV) à l'entrée et deux à la sortie (EGV).

- 30% de l'air comprimé est utilisé comme air de combustion
- Plus de 5% de l'air est utilisé par les systèmes auxiliaires de la turbine à gaz (purge, refroidissement et étanchéité)
- L'air restant est utilisé comme air secondaire pour :
 - Le refroidissement de la chambre de combustion
 - Protéger et refroidir les buses, les carters et les paliers de la turbine

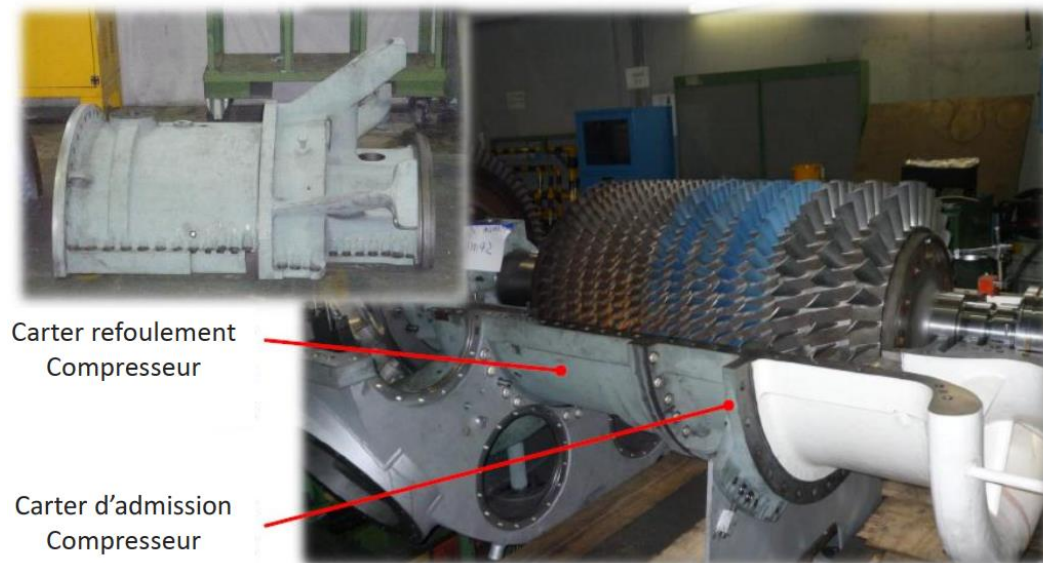


Figure II.10 : Carters de la section compresseur

II.3.5. Section combustion

La turbine MS 3002 comprends 6 chambres de combustion à écoulement inverse, en contenant des injecteurs en simple ou double carburant.

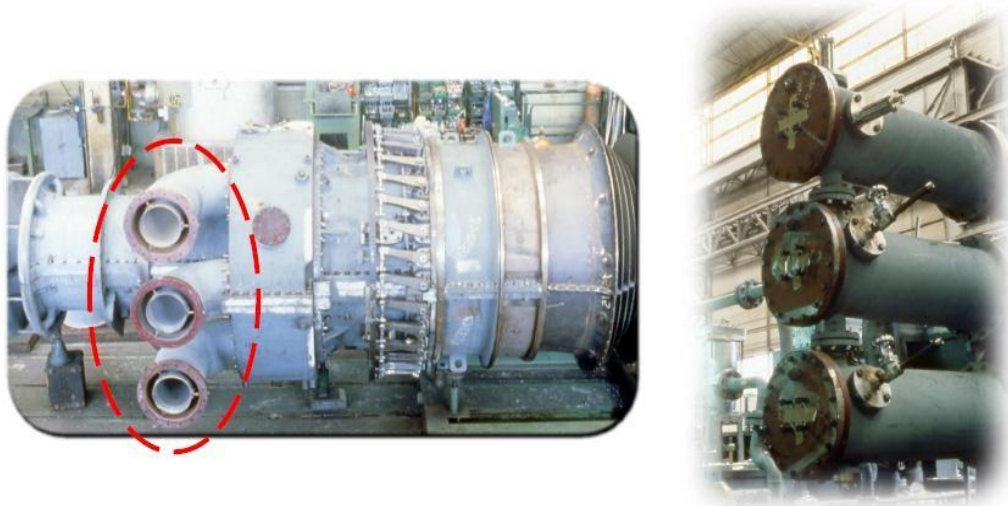


Figure II.11 : Les chambres de combustion

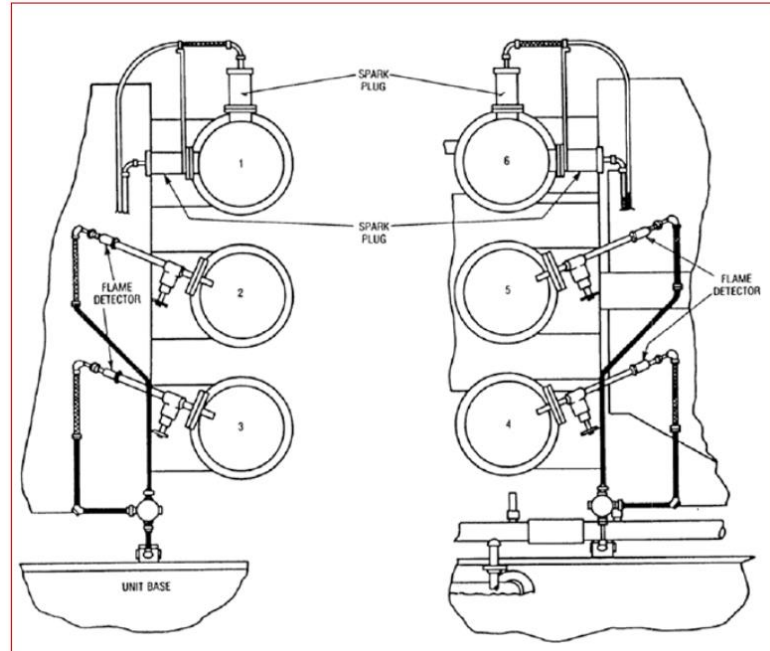


Figure II.12 : Arrangement d'une chambre de combustion I

Les chambres de combustion sont supportées par l'enveloppe, montées tout autour du carter de refoulement du compresseur. I

Seule une partie de l'air de refoulement compresseur est mélangée au combustible et brûlée. Le reste de l'air est utilisé pour **refroidir et protéger les tubes à flamme** et **réduire la température de combustion** avant d'entrée à la turbine.

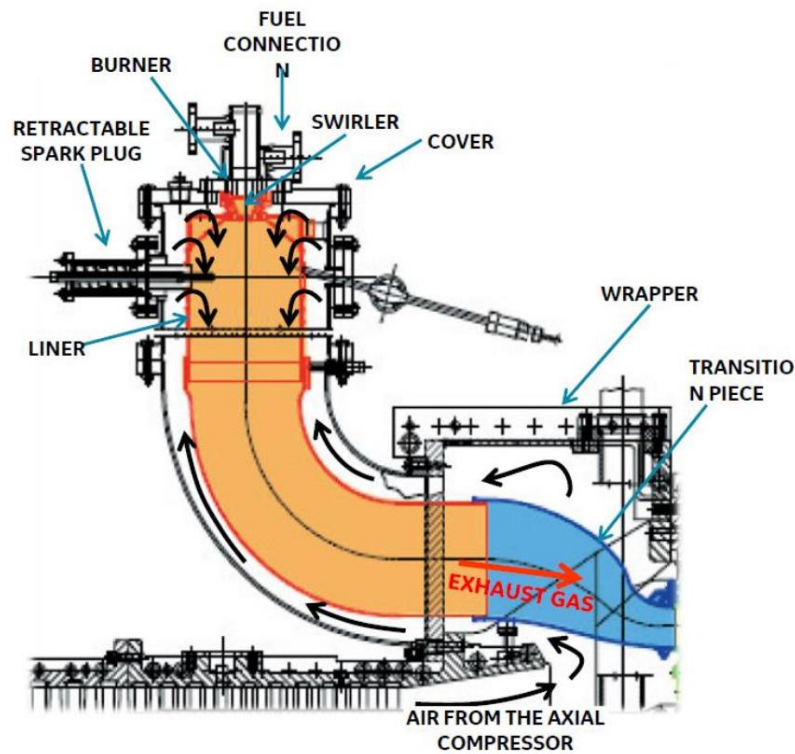


Figure II.13 : Arrangement d'une chambre de combustion II

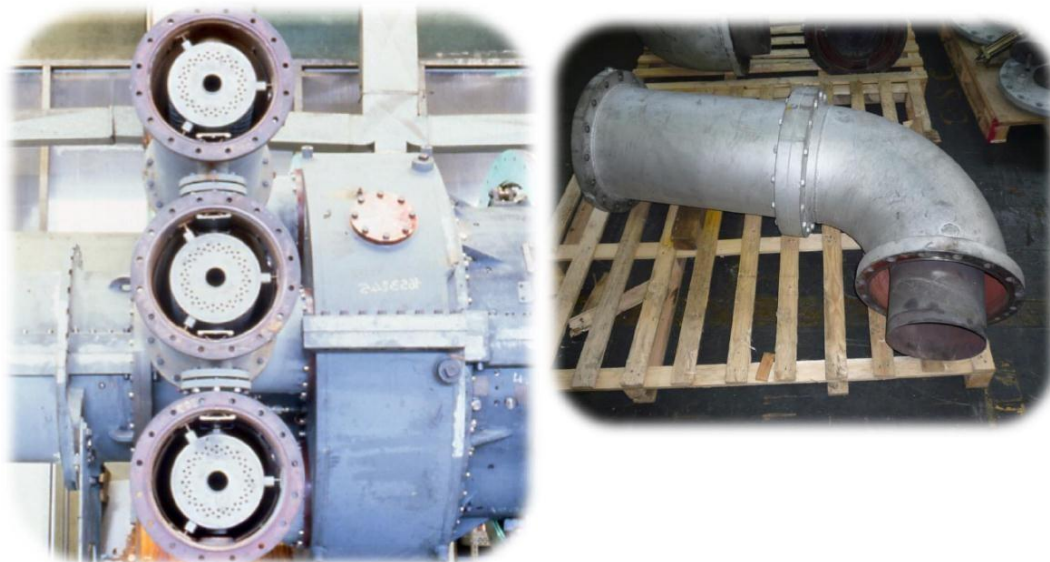


Figure II.14 : L'enveloppe de la chambre de combustion

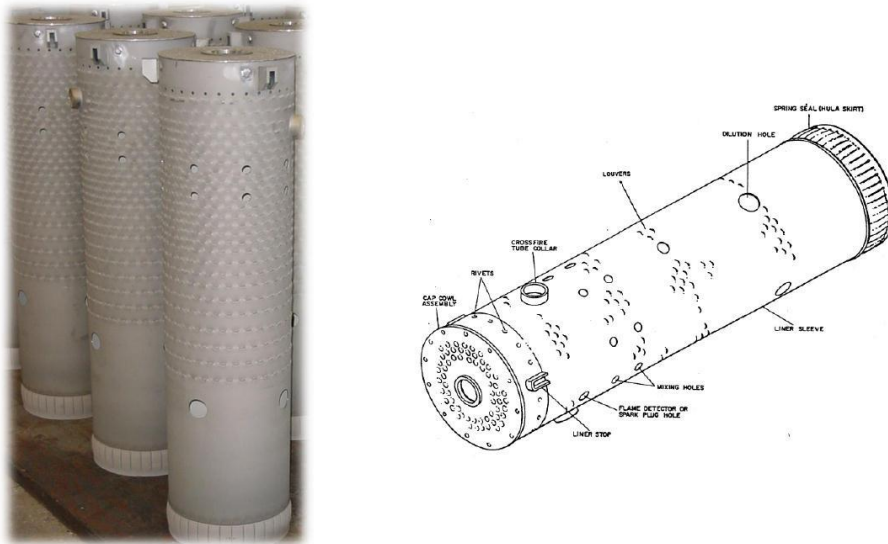


Figure II.15 : Tubes à flamme

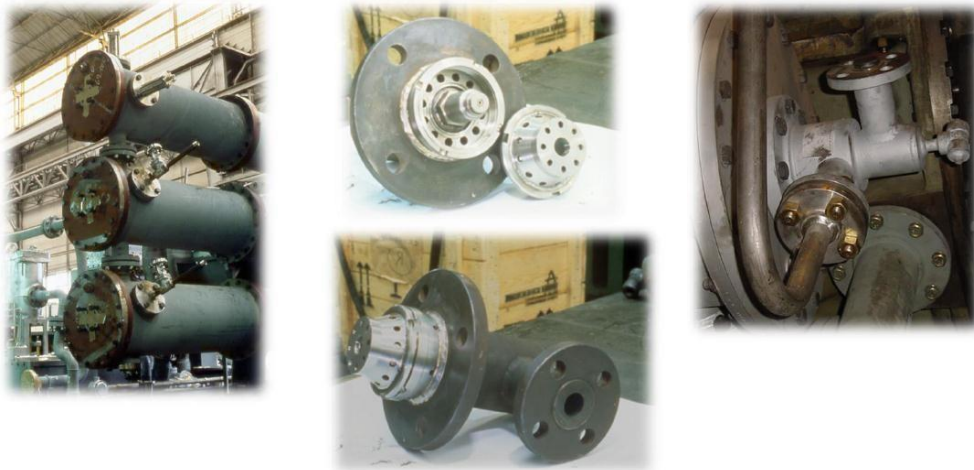


Figure II.16 : Les injecteurs

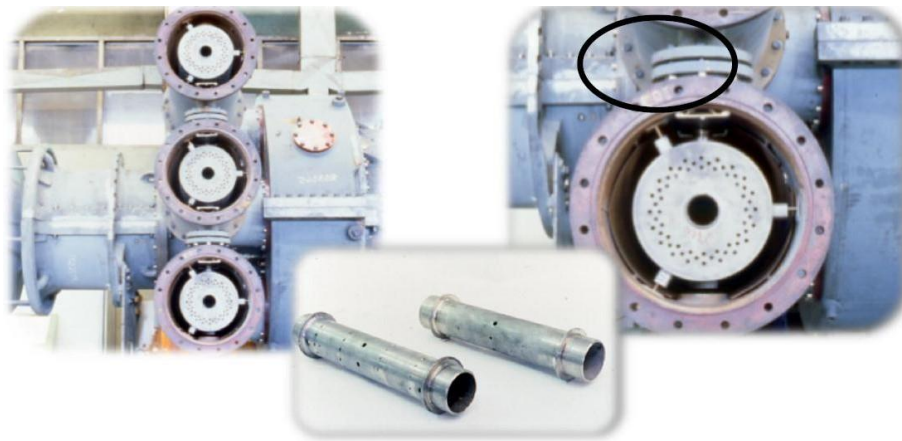


Figure II.17 : Tubes d'interconnexions

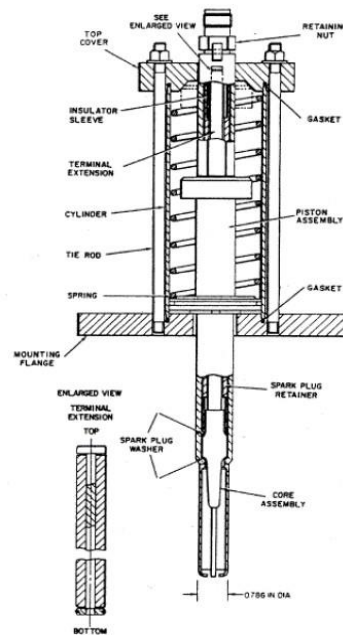
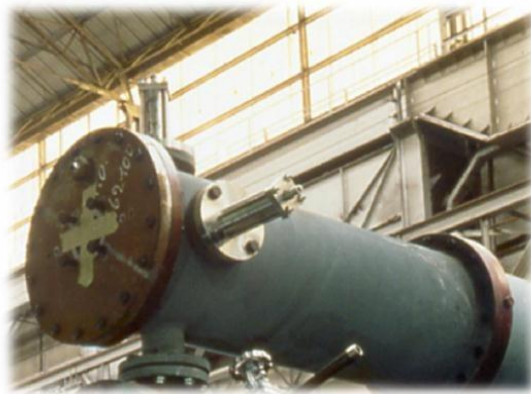


Figure II.18 : Bougie d'allumage rétractable

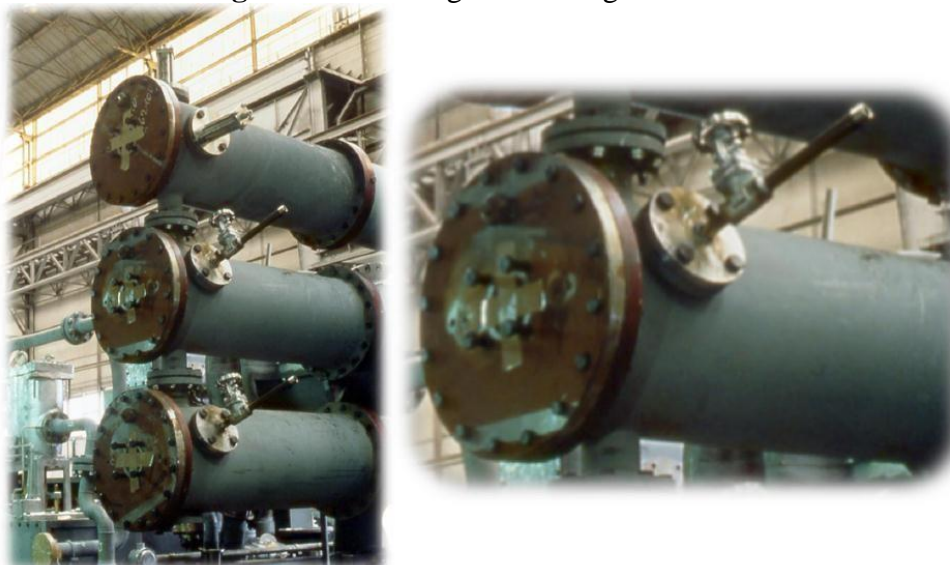


Figure II.19 : Détecteur de flamme UV

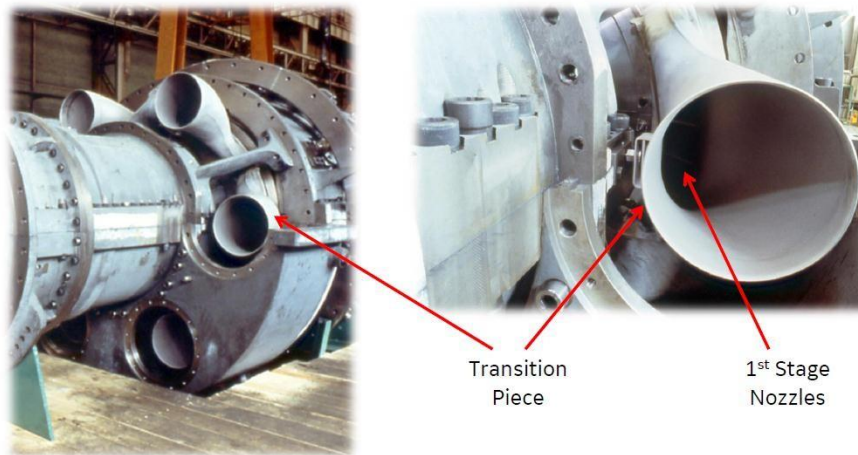


Figure II.20: Pièces de transition

II.3.6. Section de turbine

La puissance de rotation de **l'arbre HP** est fournie au moyen d'une **turbine à un seul étage**. Un gaz à haute énergie circule dans une rangée d'aubes de stator (**directrice**) qui augmentent la vitesse et la dirigent vers une rangée d'aubes rotatives (**HP**) montées sur un disque lié à l'arbre du rotor.

Au fur et à mesure que le gaz traverse les aubes, l'énergie cinétique est convertie en puissance de rotation disponible pour l'arbre du rotor



Figure II.21 : Module Haute Pression

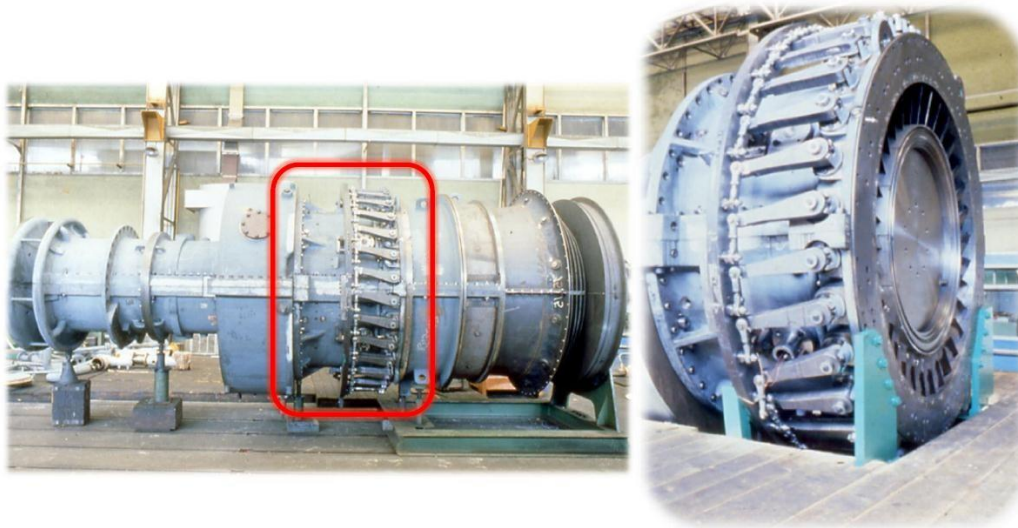


Figure II.22 : Carter de la turbine

II.3.6.1. Composantes principales

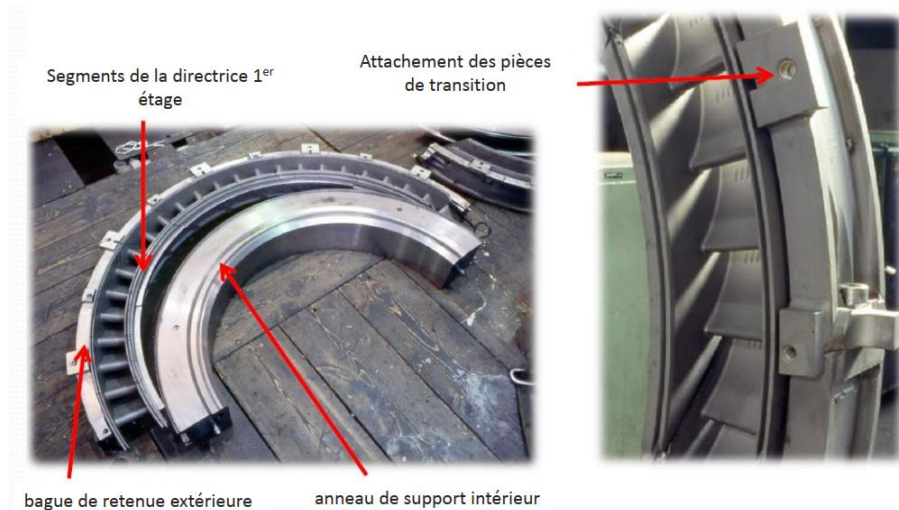


Figure II.23 : Directrice fixe



Figure II.24 : Aubes de premier étage

Le carter de la turbine fournit le «chemin du gaz chaud» entre les turbines haute pression et basse pression.

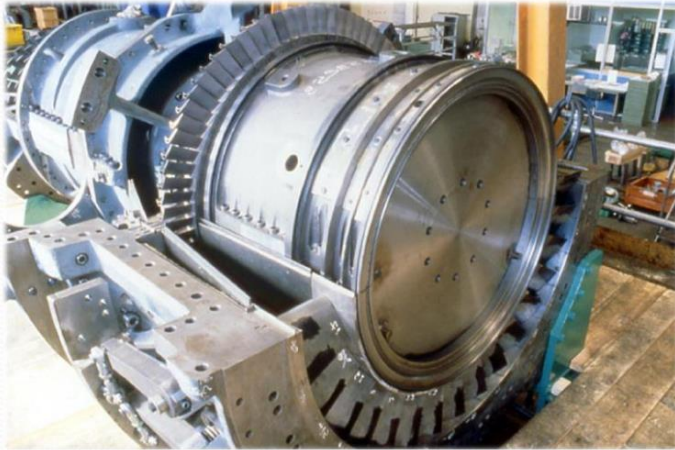
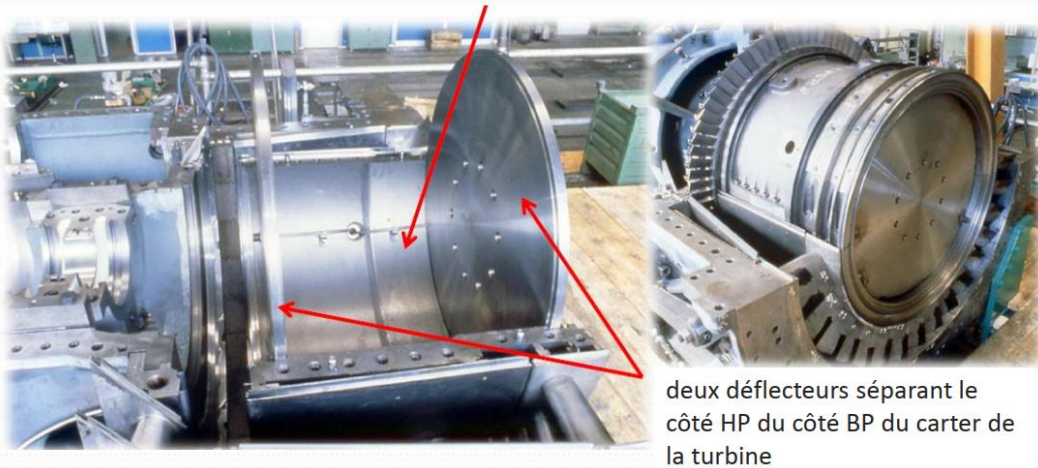


Figure II.25 : Carter de la turbine

le diaphragme est supporté par six goupilles radiales

Diaphragme 2^{ème} partie



deux déflecteurs séparant le côté HP du côté BP du carter de la turbine

Figure II.26: Carter de la turbine

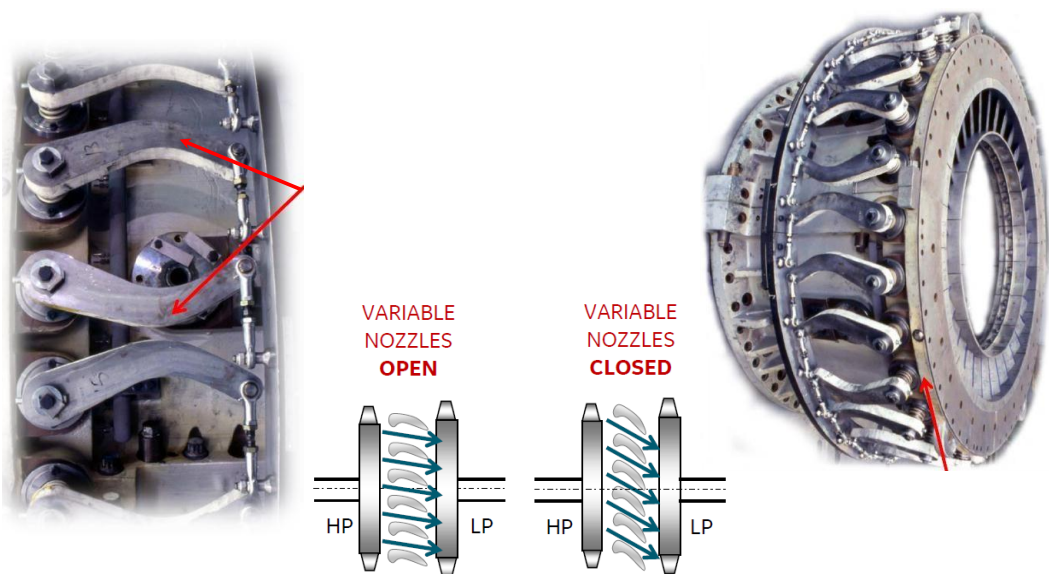


Figure II.27 : Directrice variable



Figure II.28: Module Basse Pression

- **Paliers De La Turbine À Gaz**

Deux paliers lisses supporter chacun des rotors HP et BP

- Un palier de butée pour chaque rotor afin de maintenir la position axiale rotor-stator et de supporter les charges de poussée transmises par le rotor.

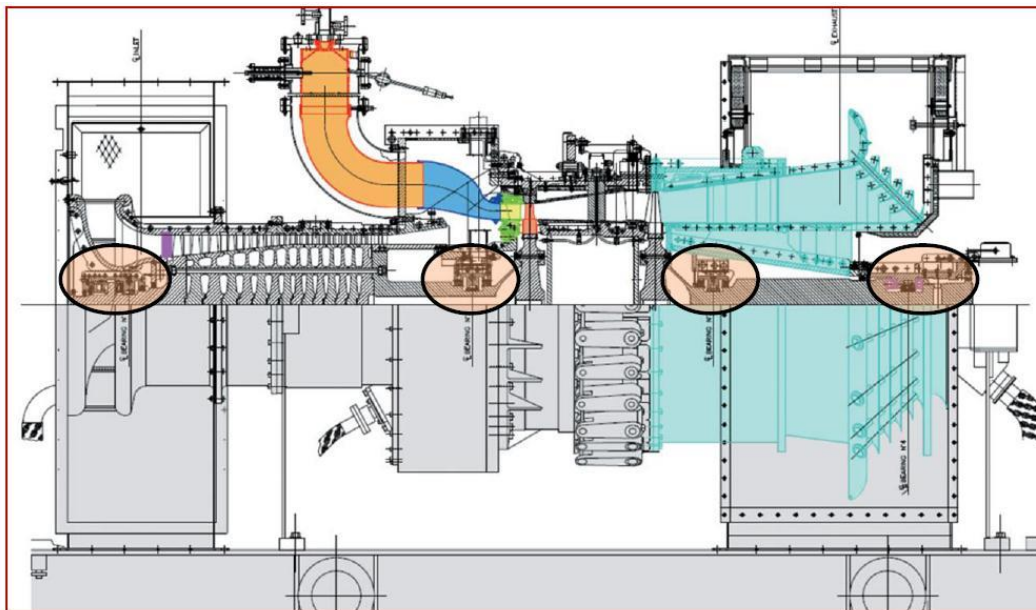


Figure II.29 : Paliers de la TAG



Figure II.30 : Différents types des paliers

II.3.7. Section échappement

La section d'échappement dirige le flux des gaz chauds provenant de la turbine dans le conduit d'échappement au moyen des diffuseurs divergents.

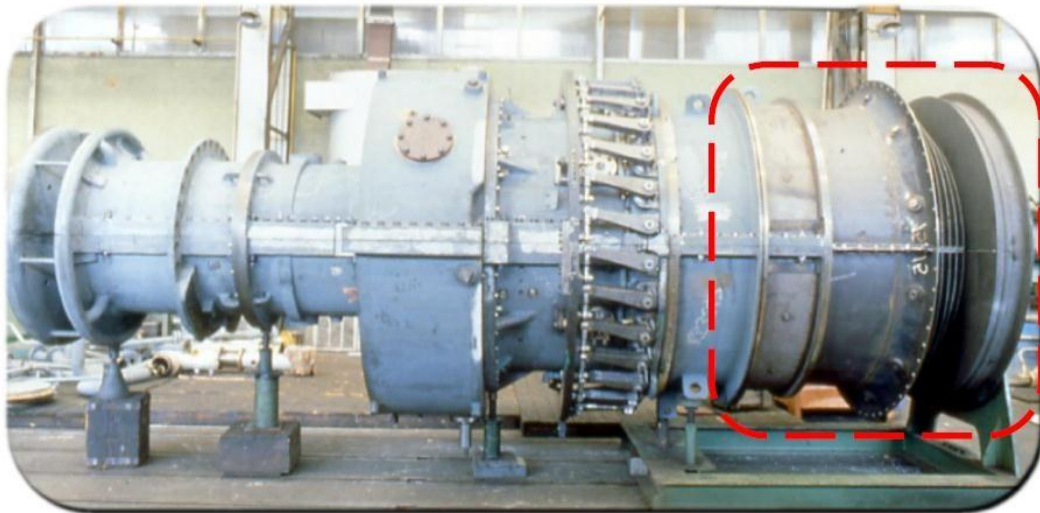


Figure 0.31 : Section d'échappement

II.3.8. Systèmes auxiliaires

II.3.8.1. Système huile de graissage

II.3.8.1.1. L'utilité

Le système d'huile de graissage fournit d'huile filtrée à la température et à la pression appropriées pour un fonctionnement satisfaisant de la **turbine et de ses équipements associés**. L'huile de graissage utilisée pour :

- lubrifier et refroidir les paliers de la turbine et de la machine entraînée
- lubrifier les engrenages des accessoires L'huile de graissage est également fournie au :
- Circuit **d'huile hydraulique**
- Système **d'huile de commande**

- **Système de démarrage** et au convertisseur de couple si existe
- Circuit **d'huile d'étanchéité** dans le cas des compresseurs centrifuge comme équipement associé

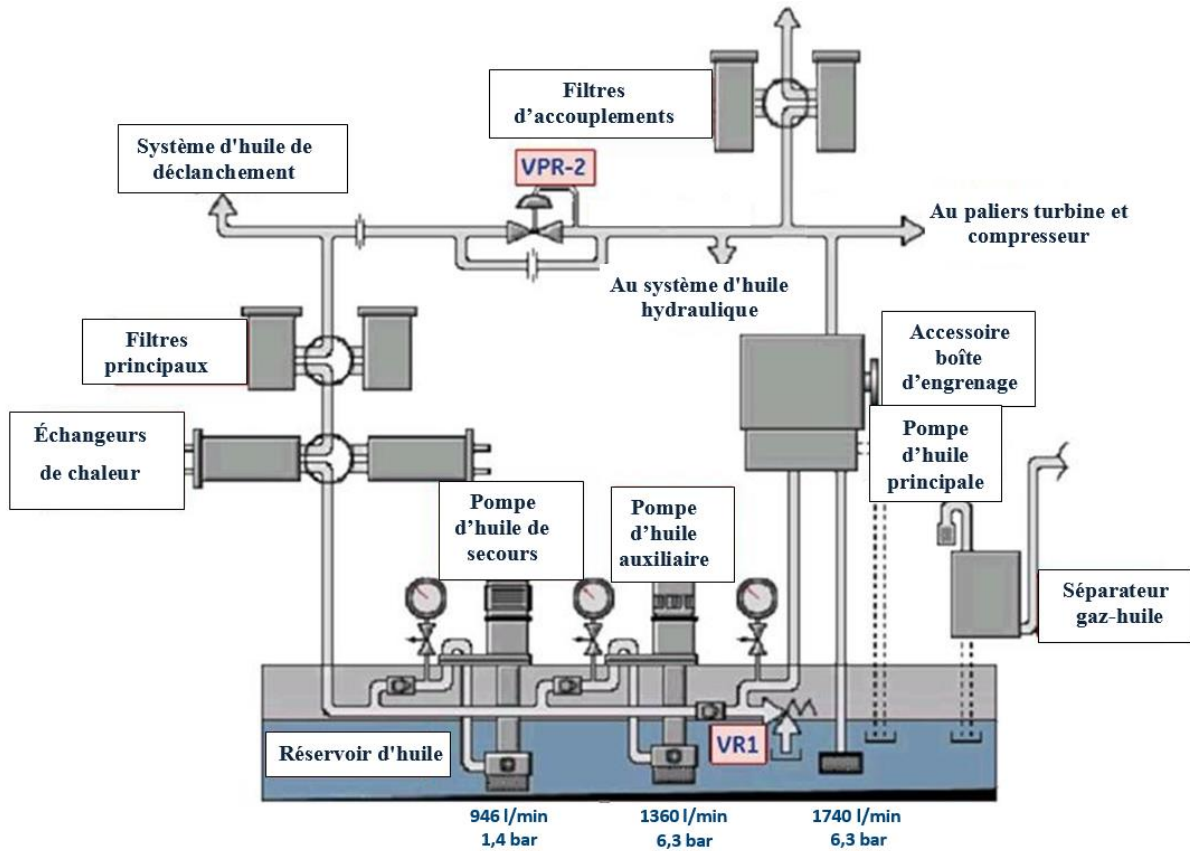


Figure II.32 : Schéma simplifié de circuit d'huile de graissage

II.3.8.1.2. Pompe d'huile de graissage principale

La pompe à huile de graissage principale est généralement une pompe à engrenages à déplacement positif entraînée par la boîte d'engrenages d'accessoires (GEARBOX).

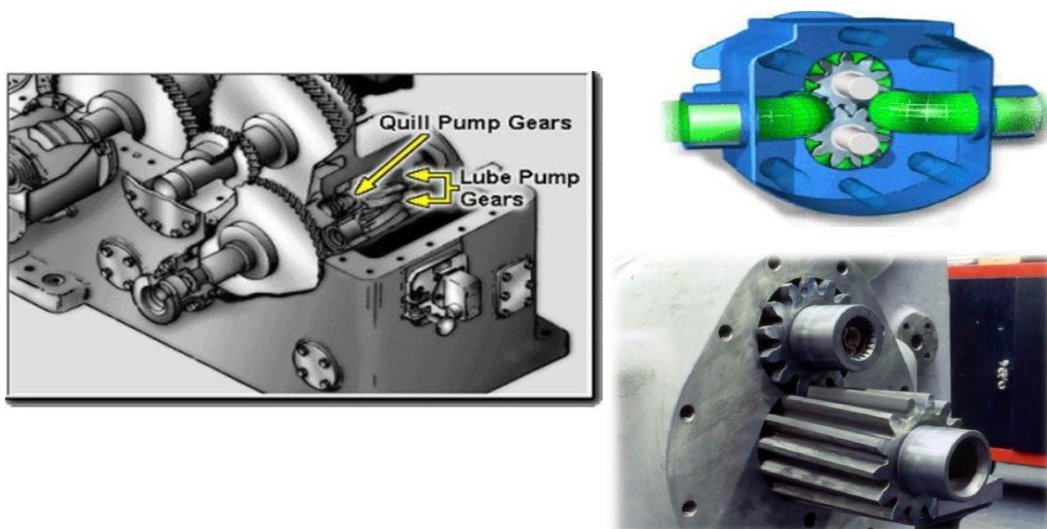


Figure II.33: Pompe d'huile de graissage principale

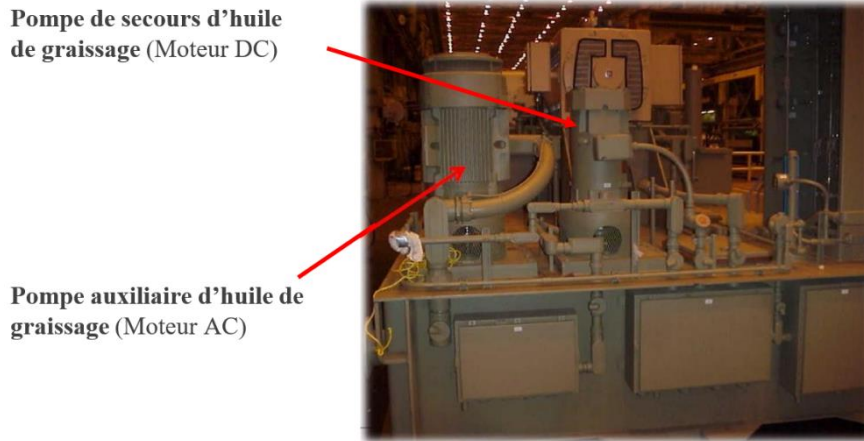


Figure II.34 : Pompe d'huile de graissage auxiliaire et secours

II.3.8.2. Système huile hydraulique

La partie hydraulique de la commande de la directrice se compose d'un cylindre hydraulique, d'une vanne asservie, d'une vanne de décharge, d'accumulateurs et d'un manifold et d'une assise de montages combinés. De l'huile hydraulique sous haute pression entre dans ce circuit de commande à travers une soupape de retenue d'alimentation et un orifice de restriction parallèle conçu pour admettre librement l'huile, mais aussi pour limiter le taux de chute de pression d'alimentation. Deux accumulateurs sont installés pour assurer une alimentation en huile de commande suffisante pour ouvrir le système de commande de la directrice

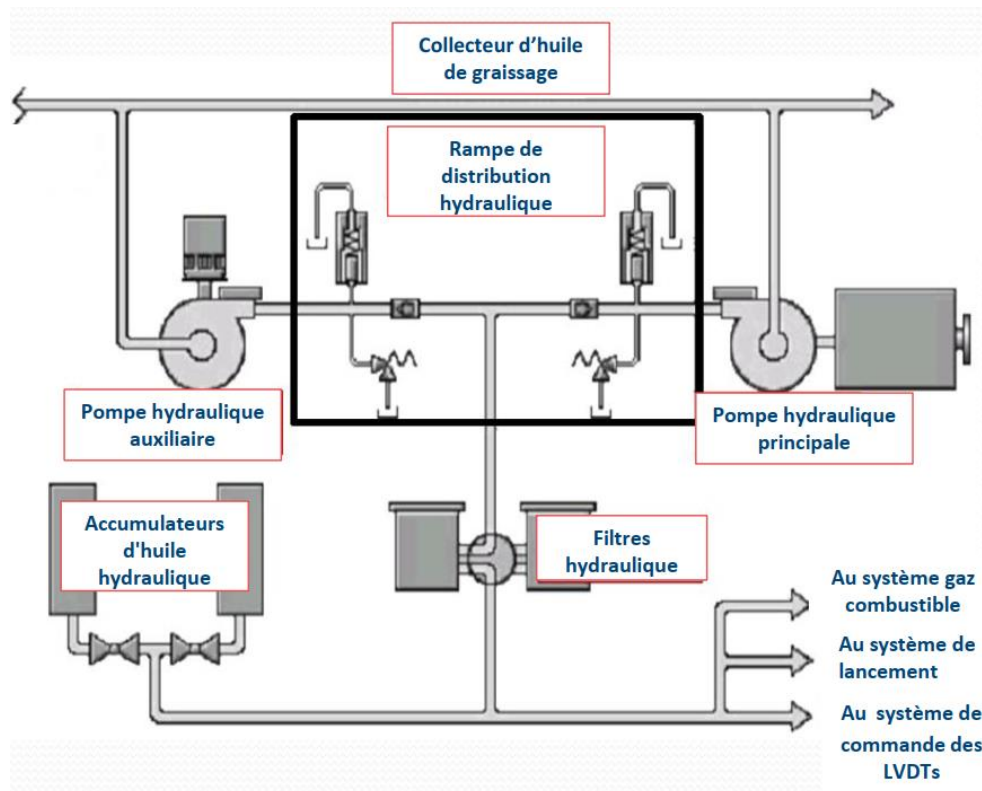


Figure II.35 : Schéma simplifié de circuit d'huile hydraulique

II.3.8.2.1. Objectif principal

L'huile hydraulique fournit la quantité d'huile nécessaire pour actionner les vérins du crabot ainsi le dispositif de commande des LVDTs.

II.3.8.2.2. Caractéristiques

L'huile provenant de collecteur d'huile de graissage après filtration il est mis sous haute pression de (~80bar)

- le fonctionnement de l'huile hydraulique est correctement contrôlé par le système au moyen de servovalves

II.3.8.2.3. Composants principaux

La pompe d'alimentation en huile hydraulique principale est une pompe à des pistons axiaux à déplacement variable entraînée par la boîte d'engrenage d'accessoires.

Un régulateur de pression (VPR-3) est intégré à la pompe pour limiter la pression d'huile délivrée.

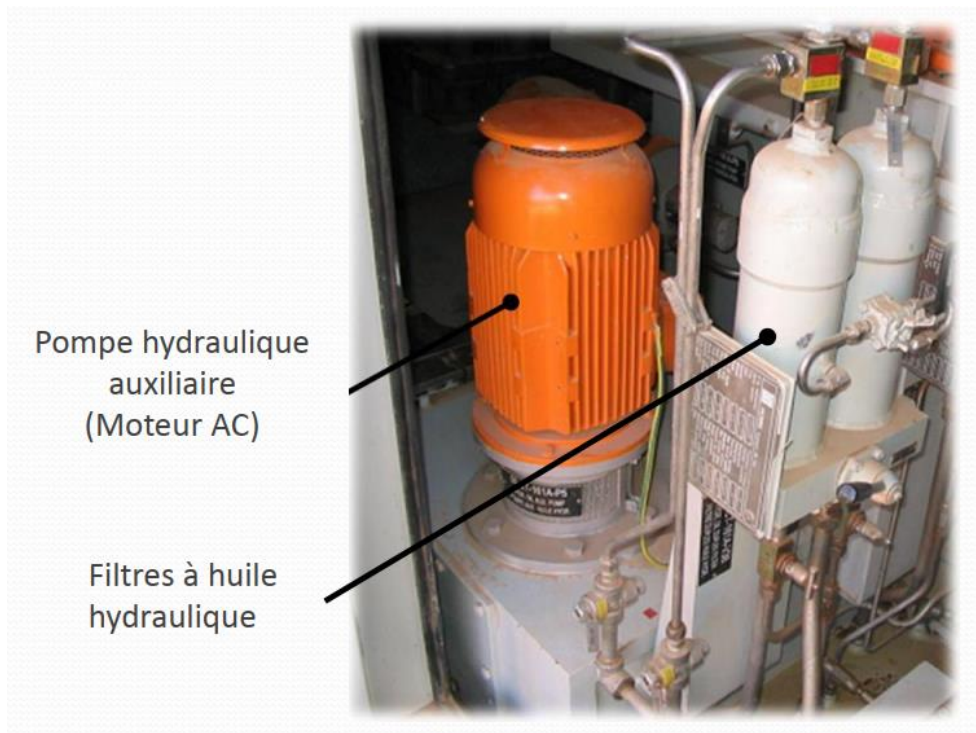


Figure II.36 : Composants principaux du Système d'huile hydraulique

II.3.8.3. Boîtier d'engrenage

II.3.8.3.1. Utilité

- Entraînement des pompes d'huile
- Transmettre le couple du moteur de lancement vers la turbine.

II.4. CONCLUSION

Ce chapitre ‘les généralités de la turbine MS 3002’ nous a permis de comprendre son fonctionnement, ses composants clés et ses applications, soulignant ainsi son importance dans le domaine de l'ingénierie et de l'industrie.

En somme, en analysant en détail la turbine à gaz MS 3002, ce chapitre nous a fourni une vue d'ensemble complète de cette technologie qui vise à fournir une compréhension approfondie de cette technologie essentielle dans l'industrie des hydrocarbures. Il offre des informations clés pour les professionnels et les spécialistes travaillant avec ces turbines, en mettant l'accent sur l'importance de la maintenance pour garantir leur bon fonctionnement et leur contribution efficace aux opérations de l'industrie des hydrocarbures.

Chapitre 3

IMPLEMENTATION DU CONCEPT DE LA RCM SUR LA TURBINE A GAZ MS 3002

III.1. INTRODUCTION

Cette section se penche sur l'application pratique des principes de la RCM à la turbine à gaz MS 3002. Elle examine les défis uniques que pose la maintenance de ce modèle de turbine avancé et souligne les avantages de l'adoption d'une stratégie de maintenance basée sur la fiabilité RCM. En effectuant une analyse complète des composants critiques, des modes de défaillance et des risques associés, par la méthode AMDEC, ensuite on réalise un plan de maintenance efficace afin de minimiser les temps d'arrêt, de réduire les coûts et d'améliorer les performances globales. Cette section fournit des indications précieuses sur l'application de la RCM à la turbine à gaz MS 3002.

III.2. COMPRENDRE AMDEC

L'analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leur criticité (AMDEC) ou FMECA (Failure Modes, Effects, And Criticality Analysis) est une méthode d'analyse prévisionnelle de la fiabilité qui permet de recenser systématiquement la défaillance potentielle d'un dispositif.

III.2.1. Historique et définitions

C'est un outil d'analyse qui permet de construire la qualité des produits fabriqués ou des services rendus et favorise la maîtrise de la fiabilité en vue d'abaisser le coût global.

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

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

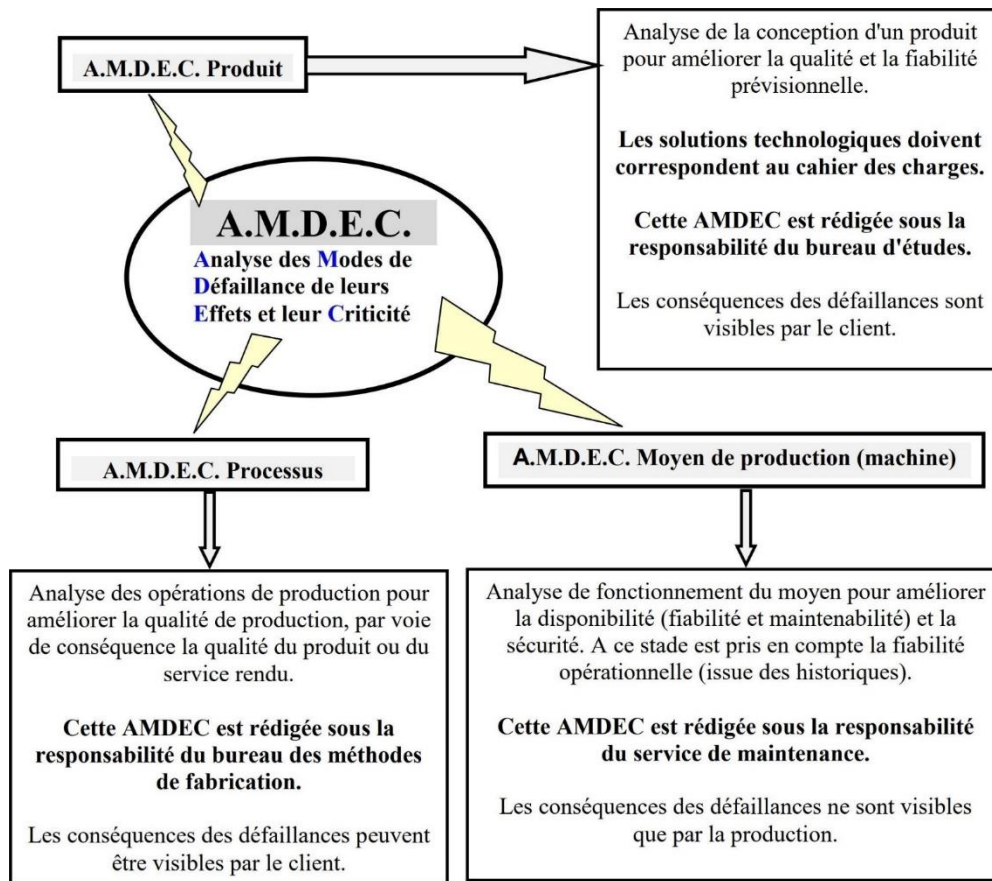


Figure III.1: Types de AMDEC [13]

III.2.2. Principes de base

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

L'AMDEC machine est essentiellement destinée à l'analyse des modes de défaillance d'éléments matériels (mécaniques, hydrauliques, pneumatiques, électriques ; électroniques...). Elle peut aussi s'appliquer aux fonctions de la machine, au stade préliminaire de sa conception.

III.2.3. Objectifs de AMDEC

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

L'objectif principal est l'obtention d'une disponibilité maximale. Les objectifs intermédiaires sont les suivants :

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

III.2.4. Particularités de la méthode

a) Avantages

- Exhaustivité ;
- Traçabilité du raisonnement ;

b) Inconvénients

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

III.2.5. Démarche AMDEC

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

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

Tableau III.1: Exemples de feuille de travail de l'AMDEC

AMDEC MACHINE - ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ							page : 1 / 1			
Système :.....		Sous -Système :.....								
Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité				Action Corrective
						F	G	N	C	

III.2.5.1. LES MODES DE DEFAILLANCE

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

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

Tableau III.2: Exemples Des Modes De Défaillances. [13]

Modes de défaillances	Composants électriques et électromécaniques	Composants hydrauliques	Composants mécaniques
Plus de fonction	- composant défectueux	- Composant défectueux - Circuit coupé ou bouché	- Rupture - Blocage, grippage
Pas de fonction	- Composant ne répondant pas à la sollicitation dont il est l'objet - Connexions débranchées - Fils desserrés	- connexions / raccords débranchés	
Fonction dégradée	- Dérive des Caractéristiques	- Mauvaise étanchéité - Usure	- désolidarisation - jeu
Fonction intempestive	- Perturbations (parasites)	- perturbations (coups de bélier)	

III.2.5.2. LES CAUSES DE DEFAILLANCE

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

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

Tableau III.3: Exemples des causes de défaillance

Causes de défaillance	Composants électriques et électromécaniques	Composants hydrauliques	Composants mécaniques
Causes internes matériel	- Vieillessement - Composant HS (mort subite)	- Vieillessement - Composant HS (mort subite) - Colmatage - Fuites	- Contraintes mécaniques - Fatigue mécanique - Etats de surface
Causes externes milieu exploitation	- Pollution (poussière, huile, eau) - Chocs - Vibrations - Echauffement local - Parasites - Perturbations électromagnétiques, etc.	- Température ambiante - Pollution (poussières, huile, eau) - Vibrations - Echauffement local - Chocs, coups de bélier	- Température ambiante - Pollution (poussières, huile, eau) - Vibrations - Echauffement local - Chocs
Causes externes Main d’œuvre	- Montage - Réglages - Contrôle - Mise en œuvre - Utilisation - Manque d’énergie	- Montage - Réglages - Contrôle - Mise en œuvre - Utilisation - Manque d’énergie	- Conception - Fabrication (pour les composants fabriqués) - Montage - Réglages - Contrôle - Mise en œuvre - Utilisation

III.2.5.3. EFFET DE LA DEFAILLANCE

Conséquences de la défaillance sur :

- Le fonctionnement et l’état matériel des biens,
- La disponibilité des biens,
- Le coût direct et indirect de maintenance,
- La qualité du produit ou du service réalisé,
- La sécurité des exécutants de réalisation ou de maintenance,
- L’environnement.

III.2.5.4. Mode de détection

Une cause de défaillance étant supposée apparue, le mode de détection est la manière par laquelle un utilisateur (opérateur et/ou mainteneur) est susceptible de détecter sa présence ou en se basant sur l'historique des machines avant que le mode de défaillance ne se produit complètement, c'est-à-dire bien avant que l'effet de la défaillance ne puisse se produire.

III.2.5.5. Criticité des conséquences

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

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

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

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

Chaque critère comporte 4 niveaux notes de 1 à 4.

Tableau III.4: Grille de cotation de fréquence, gravité et non détection. [13]

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

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

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

La valeur relative des criticités des différentes défaillances permet de planifier les recherches en commençant par celles qui ont la criticité la plus élevée.

Tableau III.5 : Limites de criticité. [13]

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

Un plan d'action sera établi pour fixer des priorités par rapport aux améliorations proposées. Des critères économiques sont à prendre en compte pour hiérarchiser les modes des défaillances, moyens, dispositifs ou procédures permettant de lutter contre le processus de défaillance d'un élément ou d'une tâche et de faire diminuer sa criticité.

III.2.5.6. Application de la méthode AMDEC

L'AMDEC est une méthode de réflexion créative qui repose essentiellement sur la décomposition fonctionnelle de système en éléments simples jusqu'au niveau des composants les plus élémentaires. On a décomposé le système en des sous-systèmes comme illustré dans la figure III.2

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

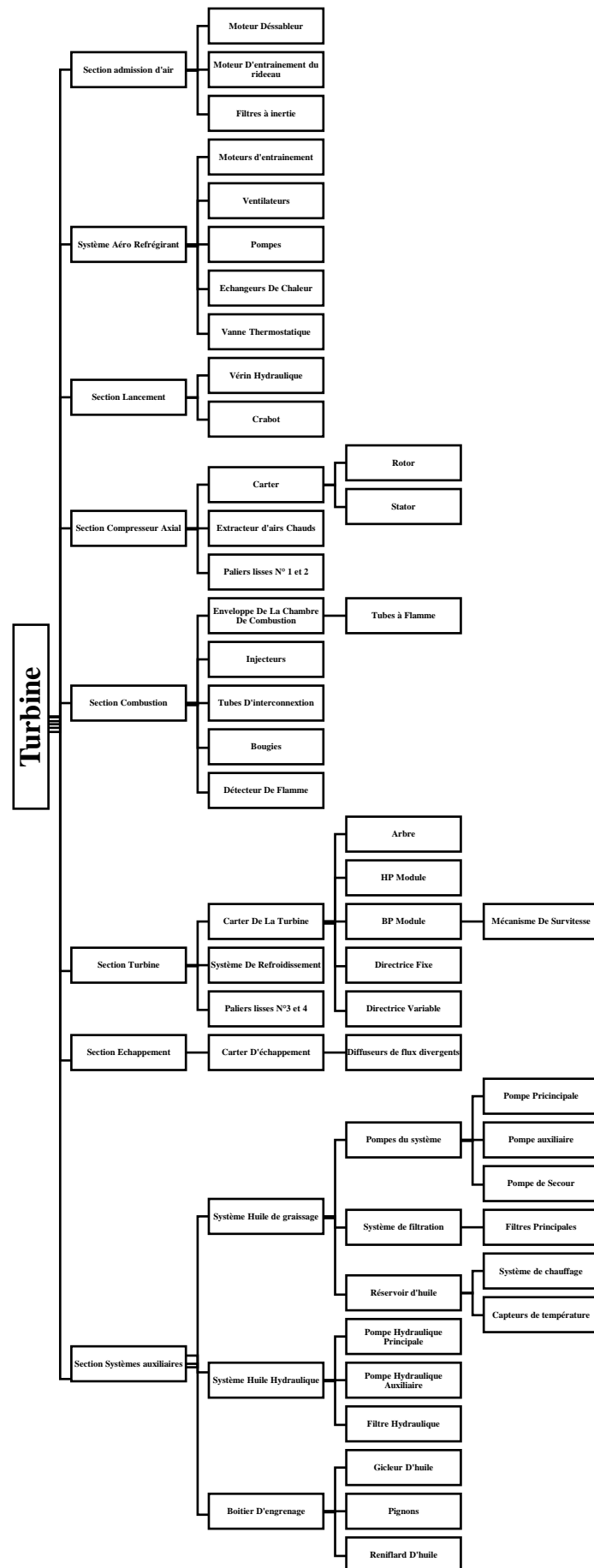


Figure III.2 : Décomposition structurelle de la Turbine MS 3002

Ensemble : turbine à gaz										Page : 1
Sous ensemble 1 : Section admission d'air										
Elément	Fonction	Mode de défaillance	Causes	Effets	Détection	F	D	G	C	Actions correctives
Moteur et Extracteur	- Filtrer les grains et les impuretés à grand diamètre pour les éliminer	-Couinement de la courroie - Vibration du moteur -Echauffement du moteur	-Courroie a atteint sa durée de vie - mauvais serrage -mauvais alignement -roulement défaillant	- Mal filtration - Augmentation de la ΔP - Erosion des aubes et organes internes	- Inspection visuelle - Manomètres de pression	1	4	2	8	- Vérification des courroies de transmission - Vérifier le serrage des moteurs et des extracteur
Moteur d'entraînement du rideau	- Tourner le rideau bain d'huile	- Couinement de la courroie - Vibration du moteur -Echauffement du moteur - Erosion de organes du réducteur (Bielle, roue dentées ...)	- Mauvais entretient - Durée de vie de : courroie, roulements	- Mal filtration de l'air d'admission - Augmentation de la DP - Suffocation du caisson d'admission d'air - Colmatage du rideau causé par la non émergence dans le bain d'huile	- Inspection visuelle - Manomètre de pression	1	4	2	8	- Inspection du mécanisme d'entraînement du rideau bain d'huile (tension des courroies, réducteur, cliquets et Roues dentées)

Ensemble : turbine à gaz										Page : 2
Sous ensemble 2 : Section Aero réfrigérant										
Elément	Fonction	Mode de défaillance	Causes	Effets	Détection	F	D	G	C	Actions correctives
Moteur de pompe hydraulique	- Entraînement de la pompe hydraulique	- Court-circuit - Problème des roulements - Vibration - Ne démarre pas	- Performance réduite - Bruit a normal - Vibration	- Vieillessement - Usure des Roulements - Mauvais contact des connexions	- Défaillance du circuit de commande hydraulique	1	3	2	6	- Changement des roulements - Contrôle des connexions - Renforcement des isolations
Impulseurs des pompes	- Comprimer le fluide - Augmenter le débit	- Usure par cavitation	- Bulles d'aire - Débit insuffisant au niveau de l'aspiration	- Ouverture vanne recyclage - Endommagement de la roue	- Bruit	1	3	4	12	- Installation des pompes boosters avant l'aspiration de la pompe principale - Equilibrage - Remplacement de l'impulseur endommagé
Arbre pompe	- Entraîner l'impulseur	- Déformation - Usure	- Balourd	- Flexion	- Augmentation des vibrations	1	3	4	12	- Equilibrage
Garniture	- Etanchéité	- Fuite	- Mauvais serrage - Fissure	- Pert de débit et de pression	- Visuel	2	1	3	6	- Serrage - Changement
Ventilateur de refroidissement	-Pour le refroidissement de l'eau	-Court-circuit -Problème des roulements -vibration - Ne démarre pas	-vieillessement -Usure des roulements -mauvaise connexion -mauvais isolation	- Augmentation de la température d'huile de graissage	- Visuelle Mesure de vibration - Bruit a normal	1	4	2	8	-Changement des roulements -contrôle des connexions -renforcement des isolations

Ensemble : Turbine à gaz											Page : 3
Sous ensemble 3 : Section lancement											
Elément	Fonction	Mode de défaillance	Causes	Effets	Détection	F	D	G	C	Actions correctives	
Vérin hydraulique	- Embrayage du crabot vers l'arbre de la turbine	- Fuite d'huile d'entraînement - Blocage du piston	- Usure	- Le crabot n'atteint pas sa fin de course	- Visuelle - Mark VI	2	1	3	6	- Serrage - Changement	

Ensemble : Turbine à gaz										Page : 4-1
Sous ensemble 4 : Compresseur axial										
Elément	Fonction	Mode de défaillance	Causes	Effets	Détection	F	D	G	C	Actions correctives
Rotor	- Assurer le mouvement de rotation et comprimer l'air	- Usure - Rupture	- Fatigue - Mauvais graissage	- Arrêt de compresseur	- Mark VI	1	4	1	4	- Vérifier le système de graissage - Vérifier le rotor
Aubes du rotor	- Assurer la force nécessaire pour comprimer l'air	- Déformation - Corrosion - Erosion	- Mauvaise filtration d'air (entraînés des corps étrangers)	- Vibration - Détériorations des aubes	- Faible débit d'air - Mark VI	1	3	2	6	- Redressement - Nettoyage ou changement de filtre - Changer les aubes
Stator	- Former la structure externe principale et supporter le Rotor à l'endroit des paliers	- Déformation - Usure	- Pompage de compresseur - Fatigue	- Arrêt de compresseur	- Bruit - Mark VI	1	4	2	8	- Redressement - Vérifier le stator
Aubes alternative	- Fixer le stator, assurer la rotation de rotor à profil aérodynamique	- Corrosion - Erosion	- Mauvaise filtration d'air	- Vibration - Détériorations des aubes	- Bruit - Mark VI	1	3	2	6	- Redressement - Nettoyage ou changement de filtre - Changer les aubes
Aubes du stator	- Guider l'air pour pénétrer dans les étages successifs du compresseur axial	- Déformation - Corrosion - Erosion	- Mauvaise filtration d'air	- Vibration - Détériorations des aubes	- Bruit - Mark VI	1	3	2	6	- Redressement - Nettoyage ou changement de filtre - Changer les aubes
Corps d'admission	- Diriger l'air de manière uniforme dans le compresseur	- Usure - Rupture	- Corrosion - Surcharge	- Mauvaise filtration d'air	- Faible débit d'air	1	3	1	3	- Nettoyage ou changement de filtre - Changer les Corps d'admission
Aubes variable (IGV)	- Permettre à la turbine d'accélérer rapidement et en douceur, cela avec des débits d'air variables	- Corrosion - Erosion	- Mauvaise filtration d'air - Mauvais fonctionnement de système hydraulique	- Pompage de compresseur	- Mark VI	1	3	2	6	- Nettoyage ou changement de filtre - Vérifier le système à l'huile hydraulique

Ensemble : Turbine à gaz										Page : 4-2
Sous ensemble 4 : Compresseur axial										
Élément	Fonction	Modes de défaillance	Causes	Effets	Détection	F	G	N	C	Action Corrective
Corps avant	- Transférer les charges des 15 premiers étages du stator du compresseur - Fixation des aubes du stator	- Cassure - Fissure	- Fatigue - Mauvaise conception	- Pompage de compresseur	- Mark VI	1	3	2	6	- Changement des corps avant - Nouvelle conception
Corps de refoulement	- Equilibrer le pompage de compresseur, former les parois du diffuseur et relier le compresseur aux stators de la turbine de leur étage (roue HP)	- Cassure - Fissure	- Fatigue - Mauvaise conception	- Pompage de compresseur	- Mark VI	1	3	3	9	- Changement des corps de refoulement - Nouvelle conception
Cylindre intérieur	- Entoure le rotor du compresseur	- Usure - Rupture	- Fatigue - Frottement	- Vibration	- Bruit - Mark VI	1	3	2	6	- Vérifier le système de graissage - Changer le cylindre
Clavettes	- Faire passer l'air dans un seul sens	- Usure - Colmatage	- Fatigue - Mauvais fonctionnement de filtre	- Diminution de pression	- Faible débit d'air	1	2	1	2	- Changement de clavettes - Nettoyage ou changement de filtre
Les paliers No. 1 et 2	- Soutien le rotor du compresseur/turbine de haute pression et assurer le graissage	- Usure - Cassure	- Fatigue - Vibration - Mauvais alignement - Mauvais graissage	- Echauffement - Blocage de rotor HP	- Bruit - Mark VI	1	4	2	8	- Vérifier le système de graissage - Changement des paliers

Ensemble : Turbine à gaz										Page : 5
Sous ensemble 5 : Section combustion										
Élément	Fonction	Modes de défaillance	Causes	Effets	Détection	F	G	N	C	Action Corrective
Enveloppe de combustion	- Renfermer les chambres de combustion + la pièce de transition et transférer l'air de refoulement	- Déformation - Usure	- Echauffement local - Fatigue	- Mauvaise combustion	- Thermocouple - Mark VI	1	4	2	8	- Redressement - Changer l'enveloppe de combustion
Chemise	- Renfermer la chambre combustion	- Gonflage - Distorsion	Aire brûlée ou surchauffée	Mauvaise combustion	Faible débit au refoulement	2	4	1	8	- Changer la chemise
Bougie d'allumage	- Déclencher la combustion du mélange (fuel gaz +l'air de compresseur axial)	- Grippage - Eraillure	- Echauffement local	- Pas de combustion	- Mark VI	1	3	1	3	- Nettoyage ou changement bougie d'allumage
Joint d'étanchéité	- Assurer l'étanchéité	- Usure	- Fatigue	- Echauffement	- Fuite de gaz - Mark VI	2	3	2	12	- Changement des joints
Détecteur de flamme	- Envoyer l'indication de présence ou absence de flamme au système de commande	- Défectueux	- Chocs - Vibrations - Echauffement local	- La turbine ne démarre pas	- Mark VI	1	3	1	3	- Changer le détecteur de flamme
Injecteurs de combustible	- Emettre une quantité mesurée de fuel gaz dans la chemise de combustion	- Grippage - Usure	- Fatigue - Echauffement local	- Mauvaise combustion	- Fuite de gaz	1	3	2	6	- - Traitement de la tige - Remplacement l'injecteur de combustible
Tubes à flamme	- Relier les 12 chambres de combustion et permette la propagation de la flamme	- Flambage - Usure	- Echauffement - Corrosion - Fatigue	- Mauvaise combustion	- Thermocouple - Mark VI	2	3	2	12	- Changer les tubes à flamme
Pièce de transition	- Transformer les gaz chauds à la directrice du 1 ère étage (roue HP)	- Fissures - Gonflage	- Fatigue - Mauvaise Conception	- Echauffement local - Basse vitesse HP	- Thermocouple - MarkV	2	3	2	12	- Changer la pièce de transition - Nouvelle conception
Support de fixation	- Fixation de tube à flamme	- Usure - Déformation	- Fatigue - Echauffement	- Mauvaise combustion	- Bruit	2	3	1	6	- Changement le support de fixation

Ensemble : Turbine à gaz							Page : 6-1			
Sous ensemble 5 : Section Turbine										
Élément	Fonction	Modes de défaillance	Causes	Effets	Détection	F	G	N	C	Action Corrective
Stator	- Former la structure de la turbine à gaz	- Déformation - Usure	- Pompage de compresseur - Fatigue	- Mauvais fonctionnement	- Bruit - Mark V	1	4	2	8	- Redressement - Vérifier le stator
Directrice du premier étage	- Diriger les gaz chauds vers les aubes de la roue HP	- Usure - Colmatage - Fissure	- Fatigue - Mauvais fonctionnement du filtre	- Basse vitesse de la roue HP	- Mark VI	1	4	3	12	- Nettoyage ou changement de filtre - Changer la directrice du premier étage
Directrice du deuxième étage	- Diriger les gaz chauds vers les aubes de la roue BP	- Usure - Colmatage - Fissure	- Fatigue - Mauvais fonctionnement du filtre	- Basse vitesse de la roue BP	- Mark VI	1	4	3	12	- Nettoyage ou changement de filtre - Changer la directrice du deuxième étage
Segments	- Assemblé l'injecteur dans une bague de blocage	- Usure - Rupture	- Fatigue - Echauffement	- Vibration	- Mark VI	1	4	3	12	- Changement des segments
Aubes tournantes (Nozzles)	- Former tuyère à angle variable pour commander la vitesse de la roue BP	- Corrosion - Rupture	- Mauvaise filtration de gaz combustible - Echauffement	- Mauvais fonctionnement de la roue BP	- Mark VI	1	4	3	12	- Nettoyage ou changement de filtre - Changer les aubes tournantes
Rotor de la turbine HP	- Actionner le compresseur axial et assurer le mouvement de rotation	- Usure - Rupture	- Fatigue - Mauvais graissage	- Arrêt de compresseur axial	- Mark VI	1	4	1	4	- Vérifier le système de graissage - Changer le rotor
Rotor de la turbine BP	- Commande la charge (compresseur centrifuge) et assurer le mouvement de rotation	- Usure - Rupture	- Fatigue - Mauvais graissage	- Arrêt de compresseur centrifuge	- Mark VI	1	4	1	4	- Vérifier le système de graissage - Changer le rotor
Les roues	- Renfermer les aubes, assurer la rotation des rotors et assurer l'équilibrage des rotors	- Usure - Rupture	- Fatigue - Mauvaise refroidissement	- Pompage de compresseur	- Bruit - Mark VI	1	4	2	8	- Vérifier le système de refroidissement - Changer les roues
Stator	- Former la structure de la turbine à gaz	- Déformation - Usure	- Pompage de compresseur - Fatigue	- Mauvais fonctionnement	- Bruit - Mark VI	1	4	2	8	- Redressement - Vérifier le stator

Ensemble : Turbine à gaz							Page : 6-2			
Sous ensemble 5 : Section Turbine										
Élément	Fonction	Modes de défaillance	Causes	Effets	Détection	F	G	N	C	Action Corrective
Les arbres	- Former les rotors de turbine (rotor HP, rotor BP/charge) et assurer l'accouplement	- Erosion - Fissure - Jeux du bout	- Mauvais graissage - Mauvais alignement	- Pompage de compresseur - Mauvais fonctionnement	- Bruit - Mark VI	1	4	2	8	- Vérifier le système de graissage et le système de refroidissement - Changer les arbres
Diaphragme	- Séparer les deux étages de la turbine et former le couloir de passage de l'air de refroidissement les roues de la turbine	- Déformation	- Fatigue - Mauvaise refroidissement	- Echauffement - Détériorations des roues	- Bruit - Mark VI	1	4	2	8	- Vérifier le système de refroidissement - Redressement - Changer le diaphragme
Paliers No. 3 et 4	- Soutiennent le rotor de basse pression/charge de turbine et assurer le graissage	- Usure - Cassure	- Fatigue - Vibration - Mauvais alignement	- Echauffement - Blocage de rotor BP	- Bruit - Mark VI	1	4	2	8	- Vérifier le système de graissage - Changement des paliers
Goujons	- Assurer la fixation	- Desserrage	- Chocs	- Vibration	- Bruit	3	3	1	9	- Serrage

Ensemble : Turbine à gaz							Page : 7-1			
Sous ensemble 7 : Section huile de graissage										
Élément	Fonction	Modes de défaillance	Causes	Effets	Détection	F	G	N	C	Action Corrective
Moteur de pompe de graissage	- Pour le fonctionnement de la pompe de graissage	- Court-circuit - Problème des roulements - Vibration - Ne démarre pas	- -vieillessement - -Usure des Roulements - -mauvais connexion - -mauvais isolation	- Arrêt de circuit de graissage	- Visuelle - Mesure de vibration - Bruit anormal	1	4	2	8	- Changement des roulements - Rebobinage - Contrôle des connexions - Renforcement des isolations
Pompe de graissage principale / auxiliaire	- Pour le graissage de la turbine	- Vibration - Perte hydraulique interne - Usure de la roux centrifuge	- - -Usure des roulements - -Usure la roue centrifuge	- Mauvais graissage - Arrêt de graissage	- Mesure de vibration - Bruit anormal - Défaut de paramètre hydraulique (débit et pression)	1	4	2	8	- Changement des roulements - Changement de roue centrifuge
Moteur de pompe de graissage de secours (CC)	- Pour le fonctionnement de la pompe de graissage	- Court-circuit - Problème des roulements - Vibration - Ne démarre pas	- Vieillessement - Usure des roulements - Mauvaise connexion - Mauvaise isolation	- Arrêt de circuit de graissage	- Visuelle - Mesure de vibration - Bruit anormal	1	4	2	8	- Changement des roulements - Contrôle des connexions - Renforcement des isolations
Pompe de graissage de secours	- Pour le graissage de la turbine	- Vibration - Perte hydraulique interne - Usure de la roux centrifuge	- Usure des roulements - Usure la roue centrifuge	- Mauvais graissage - Arrêt de graissage	- Mesure de vibration - Bruit anormal - Défaut de paramètre hydraulique (débit et pression)	1	4	2	8	- Changement des roulements - Changement de roue centrifuge

Ensemble : Turbine à gaz							Page : 7-2			
Sous ensemble 7 : Section huile de graissage										
Élément	Fonction	Modes de défaillance	Causes	Effets	Détection	F	G	N	C	Action Corrective
Echangeur thermique	- Maintenir la température du fluide pour le refroidissement d'huile (de 40 à 70 °c)	- Mauvais refroidissement - Fuite	- Vieillesse	- Mauvais Refroidissement	- Visuelle avec Des manomètres de température	1	4	1	4	- Nettoyage d'échangeur - Soudage des endroits présentent la fuite
Réservoir d'huile	- Réservoir du lubrifiant	- Oxydation - Disfonctionnement des Capteurs de niveau et les sondes de température	- Fatigue - Huile dégradé	- Fuite - Mauvaise lubrification	- Visuelle	1	3	1	3	- Changement des joints - Réparation ou changement des capteurs des niveaux - Réparation ou changement des sondes de température
Filtre huile de graissage	- Assure la filtration d'Huile de graissage (Obstacle pour les particules)	- Colmatage - Mauvais filtrage	- Lubrifiant contenant des impuretés	- Disfonctionnement de tout le circuit graissage	- Indicateur de colmatage	1	2	1	2	- Changement des filtres
Tuyauterie d'huile de graissage	- Conduire l'huile de graissage de la pompe jusqu'à les pallies	- Fissure - Mauvais serrage des brides - Usure de joints	- Vieillesse - Mauvais contrôle	- Disfonctionnement de circuit de graissage	- Fuite	1	3	1	3	- Serrage de la visserie des raccordement (bride) - Changement des joints

Ensemble : Turbine à gaz							Page : 8			
Sous ensemble 8 : Section d'huile hydraulique										
Élément	Fonction	Modes de défaillance	Causes	Effets	Détection	F	G	N	C	Action Corrective
Pompe hydraulique	- Assure le refoulement a haute pression d'huile de commande hydraulique	- Pas de débit - Débit insuffisant - Pression insuffisante	- Rupture interne/blocage - Usure des dents du système d'engrenage - Défauts des joints d'étanchéité - Usure d'accouplement	- Défaillance du circuit de commande hydraulique - Arrêt de la turbine	- Paramètre non conforme - Bruit anormale	1	4	1	4	- Réparation de la pompe - Changement d'accouplement - Changement des paliers - Changement des joints
Moteur de pompe hydraulique	- Pour le fonctionnement de la pompe hydraulique	- Court-circuit - Problème de roulement - Vibration - Ne démarre pas	- Vieillessement - Usure des Roulements - Mauvais contact des connexions	- Défaillance du circuit de commande hydraulique - Arrêt de la turbine	- Paramètre non atteint - Bruit a normal - Vibration	1	3	2	6	- Changement des roulements - Contrôle des connexions - Renforcement des isolations
Filtre huile hydraulique	- Assure la propreté de l'huile de commande hydraulique (filtration des particules)	- Colmatage - Fuite	- Lubrifiant non conforme (température est impureté) - Fuite	- Disfonctionnement de tout le circuit hydraulique	- Indicateur de colmatage	1	2	1	2	- Changement des filtres - Changement des joints de filtre



Ensemble : Turbine à gaz										Page : 9
Sous ensemble 3 : Section boîtier d'engrenage										
Elément	Fonction	Mode de défaillance	Causes	Effets	Détection	F	D	G	C	Actions correctives
Multiplicateur /réducteur	- Multiplier et réduire le couple transmis et reçu	-Détérioration de dents -Endommagement des roulements	-Manque de lubrifiant -Fatigue - Vibrations	-Vibrations - Mauvais fonctionnement	-Echauffement -Bruit	1	2	3	6	-Changement des roulements -Assurer une bonne Lubrification - Inspection de la denture de l'arbre d'accouplement et l'orientation des gicleurs d'huile et serrage de la boulonneries

III.3. LE PLAN DE MAINTENANCE :

L'étude AMDEC permet d'identifier les modes de défaillance potentiels, d'évaluer leurs effets et leur criticité, et de déterminer les mesures préventives appropriées. Cela fournit une base solide pour élaborer un plan de maintenance qui cible spécifiquement les défaillances les plus critiques et réduit les risques associés.

III.3.1. Section d'admission d'air

Tache	Journalier	Hebdomadaire	Mensuel	Trimestriel	Semestriel	Service	Observations
Graissage des moteurs dessableurs et contrôle de l'isolement moteur électriques				X		Mec	
Vérifier le serrage des boulons de fixations des moteurs et des extracteurs					X	Mec	
Vérification du mécanisme de la trappe de sécurité						Instr	Pendant la RP (8000 h)
Filtre a bain d'huile graissage et Vérification du moteur d'entraînement du rideau				X		Mec	
Contrôler et étalonner les pressostats ΔP filtre					X	Instr	
Inspection du mécanisme d'entraînement du rideau bain d'huile (tension des courroies, réducteur, cliquets et Roues dentées)				X		Méc	
Raclage du bac d'huile et vérification niveau d'huile			X			Mec/ Man	
Vérifier l'état de l'huile après plusieurs raclages			X				
Vérifier la fixation des filtres à haute Efficacité et procéder au chgt suivant ΔP		X					
S'assurer de la propreté des compartiments contre toute impureté ou corp étrangère qui peut s'introduire dans la machine	X						

III.3.2. Système Aéro réfrigérant

Tache	Journalier	Hebdomadaire	Mensuel	Trimestriel	Semestriel	Service	Observations
Vérifier le serrage des boulons de fixations des moteurs électriques et des ventilateurs					X	Elec/mec	
Graisser les moteurs des ventilateurs				X		Elec	
Contrôler l'état des ventilateurs						Mec/Elec	
Contrôler la résistance, l'isolement des enroulements, la mise à la terre et le serrage des connexions des moteurs						Elec	Pendant la RP (8000 h)
Inspection de la vanne thermostatique						Inst/mec	Pendant la RP (8000 h)
Contrôler et étalonner les pressostats, thermostats						Inst	Pendant la RP (8000 h)
Contrôler et étalonner les indicateurs de niveau et les indicateurs de pression et de température						Inst	Pendant la RP (8000 h)
Contrôle général du skid (Aero)					X	Mec	
Nettoyage du filtre a tamis					X	Mec	
Nettoyage des échangeurs de chaleur air/eau et inspecter les lamelles						Mec	Pendant la RP (8000 h)

Nettoyage des échangeurs de chaleur eau/huile et inspecter les lamelles						Mec	Pendant la RP (8000 h)
Contrôle de l'état de l'eau						Mec	Pendant la RP (8000 h)
Contrôler l'état des courroies de transmission et faire des changements si nécessaire			X			Mec	
Contrôler l'alignement moteurs- pompes et les vibrations des pompes et ventilos						Mec	Pendant la RP (8000 h)

III.3. 3. Système Turbine de lancement

Tache	Journalier	Hebdomadaire	Mensuel	Trimestriel	Semestriel	Service	Observations
Inspecter et contrôler le jeu entre la roue dentée et le capteur de vitesse				X		Mec	
Contrôler le mécanisme de survitesse				X		Mec/inst	
Inspection de la pompe de graissage					X	Mec	
Inspecter et contrôler les jeux de crabots en position Débrayée/embrayée				X		Mec	
Nettoyer / changer le filtre gaz de lancement					X	Mec	
Contrôler les électrovannes du circuit du gaz de lancement					X	Inst	
Contrôler la vanne régulatrice Fisher					X	Inst	
Contrôler la fin de course					X	Inst	
Contrôler les vérins hydrauliques					X	Mec	

III.3.4. Section Turbine (COMPRESSEUR)

Tache	Journalier	Hebdomadaire	Mensuel	Trimestriel	Semestriel	Service	Observations
Vérifier l'étanchéité de la turbine (fuite des gaz chaud)	X					Exp/Hse/Mec	
Vérifier l'étanchéité du circuit d'air de refroidissement	X					Exp/Hse/Mec	
Vérifier l'état et le fonctionnement des rotules du mécanisme de la directrice variable (faire des ajustements si nécessaire)					X	Mec	
Vérifier la coïncidence de l'indicateur d'angle (ouverture/fermeture des aubes) avec le degré d'ouverture ou de fermeture réel des aubes					X	Mec/Inst	
Vérifier l'état de fonctionnement du vérin hydraulique et s'assurer de l'absence de fuite d'huile sur celui-ci					X	Mec/inst	
Contrôler la pression d'huile qui alimente le vérin					X	Inst	Pendant la RP (8000 h)
Vérifier les capacités en azote (absence de fuite)	X					Exp/Hse/Inst	
Vérifier l'état des indicateurs de position des aubes par rapport à la course du vérin					X	Inst	

III.3.5. Section combustion

Tache	Journalier	Hebdomadaire	Mensuel	Trimestriel	Semestriel	Service	Observations
Nettoyage des détecteurs de flamme					X	Instr	
Contrôler le bon fonctionnement des détecteurs de flamme					X	Instr	
Vérifier le système d'allumage (Transformateur/câblage/bougie)					X	Elect	
Inspection tube a flamme					X	Mec	
Vérifier l'état des injecteurs					X	Mec	

III.3.6. Extracteur d'air chauds

Tache	Journalier	Hebdomadaire	Mensuel	Trimestriel	Semestriel	Service	OBSERVATIONS
Nettoyer les surfaces internes del'enceinte				X		Mec	
Vérifier l'état des verrous et des portes du compartiment machine						Mec	Pendant la RP (8000 h)
Procéder au contrôle des protections du système (volets de ventilation et Δp)					X	Mec/hse	
Vérifier le serrage de fixation moteur extracteur d'air chaud						Elec	Pendant la RP (8000 h)

III.3.7. Système d'échappement

Tache	Journalier	Hebdomadaire	Mensuel	Trimestriel	Semestriel	Service	OBSERVATIONS
Vérifier l'étanchéité du système					X	MEC	
Vérification de la chaine de température					X	INST	

III.3.8. Système huile de graissage

Tache	Journalier	Hebdomadaire	Mensuel	Trimestriel	Semestriel	Service	OBSERVATIONS
Graisser le moteur électrique					X	Elect	
Inspecter l'état des roulements et s'assurer de l'absence du bruit anormal				X		Elect / mec	
Contrôler l'isolement du moteur électriques					X	Elect	
Contrôler les cames chauffantes (23qt)						Elect	Pendant la RP (8000 h)
Inspecter les fuites d'huile sur le circuit et les colmater si nécessaire	X					Exp/ mec	
Contrôler les indicateurs de pression						Inst	Pendant la RP (8000 h)
Contrôler et étalonner les pressostat et thermostat						Inst	Pendant la RP (8000 h)
Graissage des paliers a butée ppe auxiliaires et secours					X	Mec	
Contrôler à l'aide des voyants le drainage des paliers turbine et remédier à toute obturation ou fuite à ce niveau	X					Exp/ mec	
Vérifier l'état de l'accouplement (amortisseur et serrage des vis de fixation)					X	Mec	
Contrôle du jeu radial de la ppe auxiliaire						Mec	Pendant la RP (8000 h)
S'assurer de la bonne manœuvrabilité du mécanisme de permutation des filtres (graissage & manœuvre)				X		Mec	
Permutation des filtres principaux & filtres accouplements					X	Exp/ mec	
Changer les filtres principaux / filtres d'accouplements						Mec	Selon Δp

III.3.9. Système huile hydraulique

Tache	Journalier	Hebdomadaire	Mensuel	Trimestriel	Semestriel	Service	OBSERVATIONS
Graisser le moteur électrique					X	Elec	
Contrôler l'isolement du moteur électriques					X	Elec	
Contrôler les indicateurs de pression						Inst	Pendant la RP (8000 h)
Contrôler et étalonner les pressostats						Inst	Pendant la RP (8000 h)
Graissage des paliers a butée pompe					X	Mec	
Contrôle de jeu radiale de la pompe						Mec	Pendant la RP (8000 h)
Changer les filtres principaux/filtres d'accouplement						Mec	Selon ΔP

III.3.10. Section Pompe de secours électrique et pneumatique

Tache	Journalier	Hebdomadaire	Mensuel	Trimestriel	Semestriel	Service	Observations
Contrôler l'isolement moteur elec					X	Elec	
Vérifier la temporisation marche/arrêt ppe elec					X	Inst	
Contrôler le niveau d'huile du huileur ppe pneumatique			X			Mec	
Vérification du détendeur pneumatique					X	Inst	
Entretien du moteur pneumatique			X			Mec	
Graissage du moteur électrique					X	elec	
Vérification du pressostat ppe-pneumatique					X	inst	

III.3.11. Boîtier d'engrenage (Gear Box)

Tache	Journalier	Hebdomadaire	Mensuel	Trimestriel	Semestriel	Service	Observations
Inspection visuelle des pignons et l'orientation des injecteurs d'huile					X	Mec	
Vérifier l'état du reniflard d'huile			X			Mec	
Inspection de la denture de l'arbre d'accouplement et l'orientation des gicleurs d'huile et serrage de la boulonneries					X	Mec	
Inspection de la denture de l'arbre d'accouplement alternateur attelé					X	Mec	
Contrôler le circuit excitateur de l'alternateur					X	Elect	Pendant la RP (8000 h)
Contrôler les protections de l'alternateur (thermistance)					X	Elect	
Graissage des roulements de l'alternateur					X	Elect	

III.4. CONCLUSION :

Cette section constitue une ressource précieuse pour les professionnels de l'industrie, les ingénieurs de maintenance et les parties prenantes impliquées dans l'exploitation et la maintenance des turbines à gaz dans le secteur des hydrocarbures, en explorant les aspects pratiques de la mise en œuvre du RCM sur la turbine à gaz MS 3002.

Grâce à une analyse complète des composants critiques de la turbine, des modes de défaillance et des risques associés, ce chapitre a mis en évidence l'importance des stratégies de maintenance proactives basées sur la fiabilité (RCM). En identifiant et en hiérarchisant les modes de défaillance critiques, en mettant en œuvre des mesures préventives et en assurant des tâches de maintenance efficaces, la turbine à gaz MS 3002 peut fonctionner de manière optimale et contribuer à l'efficacité et à la rentabilité du transport des hydrocarbures.

**CONCLUSION
GÉNÉRALE**

Tout au long de cette thèse, une étude approfondie a été menée pour explorer l'application des principes de la RCM à la turbine à gaz MS 3002, fournissant des informations précieuses sur l'optimisation des stratégies de maintenance et l'amélioration des performances globales et de la fiabilité de la turbine dans l'industrie des hydrocarbures.

L'application de la maintenance basée sur la fiabilité (RCM) à la turbine à gaz MS 3002 a apporté des avantages et des améliorations significatifs aux stratégies de maintenance et aux performances globales de ce modèle de turbine avancé dans l'industrie des hydrocarbures.

Cette thèse a fourni une exploration complète de l'application de la maintenance **centrée** sur la fiabilité (RCM) sur la turbine à gaz MS 3002 dans l'industrie des hydrocarbures. Grâce à une analyse approfondie des composants critiques de la turbine, des modes de défaillance et des risques associés (AMDEC), cette recherche a mis en évidence les avantages significatifs et la valeur de la mise en œuvre des principes de la RCM pour optimiser les stratégies de maintenance et améliorer les performances et la fiabilité de la turbine à gaz MS 3002.

L'application de la RCM à la turbine à gaz MS 3002 a démontré son efficacité à améliorer la prise de décision en matière de maintenance en identifiant et en hiérarchisant les modes de défaillance critiques, en mettant en œuvre des mesures préventives et en optimisant l'affectation des ressources. En adoptant une approche de maintenance proactive basée sur les principes de la RCM, les opérateurs et le personnel de maintenance peuvent minimiser les temps d'arrêt, réduire les coûts de maintenance et maximiser la disponibilité et la fiabilité de la turbine à gaz.

En conclusion, l'application de la RCM à la turbine à gaz MS 3002 offre des avantages et des améliorations considérables, allant des économies de coûts et de l'amélioration des performances à la sécurité et à l'allongement de la durée de vie des équipements. En adoptant les principes de la RCM, les organisations peuvent optimiser les pratiques de maintenance, garantir des opérations fiables et efficaces et prospérer dans l'environnement dynamique et difficile de l'industrie des hydrocarbures.

Les connaissances acquises grâce à cette recherche servent de base à l'amélioration continue et à l'avancement des stratégies de maintenance, contribuant ainsi au succès global et à la durabilité de l'industrie des hydrocarbures.

RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

-
- [1] **JOHN MOUBRAY**, "*Reliability Centred Maintenance 2*", Industrial Press Inc, New-York, USA, 1997.
- [2] **DHILLON, B.S.** "*Engineering maintenance : a modern approach*", CRC Press LLC, 2002.
- [3] **AMC Pamphlet** No. 750-2, "*Guide to Reliability Centered Maintenance*", Department of the Army, Washington, D.C., 1985.
- [4] **MSG1**, "*Maintenance Evaluation and Program Development, 747 Maintenance Steering Group Handbook*", Air Transport Association, Washington, D.C., 1968.
- [5] **MSG2**, "*Airline/Manufacturer Maintenance Program Planning Document*", Air Transport Association, Washington, D.C., 1970.
- [6] **MSG3**, "*Airline/Manufacturer Maintenance Program Planning Document*", Air Transport Association, Washington, D.C., 1980.
- [7] **ANDERSON, R.T. AND NERI, L.**, "*Reliability Centered Maintenance: Management and Engineering Methods*", Elsevier Applied Science Publishers, London, 1990.
- [8] **AUGUST, J.**, "*Applied Reliability Centered Maintenance*", Pennkell, Tulsa, Oklahoma, 1999.
- [9] **NOWLAN, F.S. AND HEAP, H.F.**, "*Reliability Centered Maintenance*", Dolby Access Press, San Francisco, CA, 1978
- [10] **NASA**, "*Reliability Centered Maintenance Guide for Facilities and Collateral Equipment*", National Aeronautics and Space Administration (NASA), Washington, D.C., 1996.
- [11] **DHILLON, B.S.**, *Engineering Maintainability*, Gulf Publishing Co., Houston, Texas, 1999.
- [12] **SMITH, A.M.**, "*Reliability Centered Maintenance*", McGraw-Hill, New York, 1993.
- [13] **Gilles ZWINGELSTEIN**, "*Méthode de maintenance basée sur la fiabilité RCM2™ de John Moubray*", Technique de l'ingénieur, 2015
- [14] **MCKENNA, T. AND OLIVERSON, R.**, "*Glossary of Reliability and Maintenance Terms*", Gulf Publishing Co., Houston, Texas, 1997.
- [15] **PICKNELL, J. AND STEEL, K.A.**, "*Using a CMMS to support RCM*", Maintenance Technology, October 1997, 110–117.
- [16] **NASA**, "*Reliability Centered Maintenance Guide for Facilities and Collateral Equipment*", National Aeronautics and Space Administration (NASA), Washington, D.C., 1996.
- [17] **NAVAIR 00-25-403**, Guidelines for the Naval Aviation Reliability-Centered Maintenance Process, Naval Air Systems Command, Department of Defense, Washington, D.C., October 1996.
- [18] **BRAUER, D.C. AND BRAUER, G.D.**, "Reliability-centered maintenance", IEEE Transac. Reliability, 36, 17–24, 1987
- [19] **Naftogaz** ; « Formation HSE sur l'analyse de risque » ; (2008)

ملخص

الصيانة القائمة على الموثوقية هي نهج صيانة استباقي يهدف إلى تحسين موثوقية المعدات الصناعية. يتضمن تطبيق الصيانة القائمة على الموثوقية على التوربينات الغازية MS 3002 تحليل أنماط الفشل، وتحديد مهام الصيانة الوقائية، ووضع خطة صيانة بناءً على بيانات التشغيل وإرشادات الشركة المصنعة. يعمل تطبيق هذه المنهجية على تحسين الموثوقية وتقليل وقت التوقف غير المخطط له وتحسين تكاليف الصيانة، مما يحسن الأداء التشغيلي الكلي لهذا النموذج من التوربينات.

الكلمات المفتاحية: الصيانة القائمة على الموثوقية، صيانة، استباقي، موثوقية، توربينة، نمط الفشل.

Abstract

RCM is a proactive maintenance approach aimed at optimizing the reliability of industrial equipment's. Applying RCM to the MS 3002 gas turbine involves analyzing failure modes, identifying preventive maintenance tasks and drawing up a maintenance plan based on operational data and manufacturer guidelines. Implementing RCM improves reliability, reduces unplanned downtime and optimizes maintenance costs, thereby enhancing the overall operational performance of this specific turbine model.

Key words: RCM, Maintenance, Proactive, Reliability, Turbine, Failure mode.

Résumé

La RCM est une approche de maintenance proactive qui vise à optimiser la fiabilité des équipements industriels. L'application du RCM à la turbine à gaz MS 3002 implique l'analyse des modes de défaillance, l'identification des tâches de maintenance préventive et l'élaboration d'un plan de maintenance basé sur les données opérationnelles et les directives du fabricant. Mettre en œuvre la RCM, sert à améliorer la fiabilité, réduire les temps d'arrêt imprévus et optimiser les coûts de maintenance, ce qui améliore les performances opérationnelles globales de ce modèle de turbine spécifique.

Mots clés : RCM, Maintenance, Proactive, Fiabilité, Turbine, Mode de défaillance.