

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار – عنابة

Année 2016

Faculté des Sciences de l'Ingénieur
Département Génie Mécanique

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

Application de l'AMDEC pour le
turbocompresseur GHH au niveau de l'unité
d'acide nitrique FERTIAL-ANNABA

Domaine : SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Filière : GENIE MECANIQUE

Spécialité : MAINTENANCE INDUSTRIELLE

ET FIABILITE MECANIQUE

PAR :

ATTAR ABDENOUR

DIRECTEUR DU MEMOIRE : M^{me} ZEMOURI

DEVANT LE JURY

LAGRED AHMED	MCA	Président
ZEGHIB NACER	Pr	Membre
KADER KALLOUCH	MAA	Membre
RACHID LAISSAOUI	MAA	Membre
GOUASMI SACI	MAA	Membre

Remerciement

Tout d'abord, je remercie le bon Dieu qui m'a donné la force et la patience pour terminer mes études.

Je tiens à remercier mon encadreur :

Md. ZEMOURI qui a ménagé un grand effort afin de me permettre de mener à bien mon modeste travail et à qui j'exprime ma gratitude et mes respects.

Et je remercie également, Mr : KHELIF Rabia, responsable de la spécialité, pour son support et sa patience.

Un grand merci pour les responsables de FERTIAL qui m'ont facilité les tâches dans l'élaboration de ce mémoire.

Enfin, je remercie tous ceux qui ont participé de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Merci.



Dédicaces

*À l'aide d'ALLAH j'ai pu réaliser ce travail que Je dédie
A ma mère, à mon père
Pour leur bienveillance et leur abnégation de m'avoir
encourager à terminer, dans de bonnes conditions, mon
travail.*

*A tout les membres de ma grande famille
A tous mes amis chacun son nom
en particulier les compagnons du long chemin avec tous
mes vœux de succès.*

*A tous ceux que j'aime.
A tous ceux qui m'aiment.*

Bouabdallah Billel



Dédicaces



Ce mémoire n'aurait jamais pu voir le jour sans l'encouragement des membres de ma famille que je tiens à remercier et à qui je dédie ce modeste travail, tout d'abord aux deux personnes les plus chères de ma vie :

***Ma mère WAHIBA** la lumière qui m'a toujours éclairée le chemin. A celle qui a tout fait pour ma réussite, pour sa douceur, sa tendresse, ses sacrifices et ses prières*

***Mon père KAMEL** à qui je dois tout le respect et l'amour, pour son soutien, son encouragement.*

*A ma chère tante que je le considère comme ma mère **DJAMILA**.*

A mes frères : KAIS, ZAKI et IDRIS.

A mes sœurs : RAHMA, MERIEM. SABRINA

A mes amis : CHOUAIB, AYMEN

***A ma future épouse « YASMINE »** pour son encouragement et son amour.*

A toute la famille ATTAR et BELLILI.

A tous qui accepte de se lire se présent, de se corriger et de se conseiller. À tous ceux qui m'aiment et ceux que j'aime.

ATTAR



Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1- l'exportation des produits de l'entreprise.....	3
---	----------

Chapitre III

Tableau III.1- modes de contrôle des paramètres importants.....	25
--	-----------

Chapitre V

Tableau IV.1- La relation entre $F(t)$, $R(t)$, $f(t)$, $\lambda(t)$	31
Tableau IV.2- Principales lois de suivre.....	33
Tableau IV.3- temps du bon fonctionnement de GHH.....	34
Tableau IV.4- Nombre des pannes par classe.....	35
Tableau IV.5- Données préparées.....	37
Tableau IV.6- Résultats des calculs.....	39
Tableau IV.7- Calcul Test de Kolmogorov Smirnov.....	41

Chapitre IV

Tableau V.1-: Modes de défaillances générales.....	45
Tableau V.2- <i>Modes</i> de défaillances Génériques.....	46
Tableau V.3- Classification des éléments par leur criticité.....	54

Liste des figures

Chapitre II

Figure II.1- Forme des roues et caractéristiques approchées des machines.....	6
Figure II.2- Différents familles des turbomachines.....	8
Figure II.3- Différents familles des compresseurs.....	9
Figure II.4- Photographie turbine à vapeur.....	14
Figure II.5- Photographie compresseur axial d'air.....	15
Figure II.6- Photographie turbine à gaz	16
Figure II.7- Schéma turbocompresseur GHH.....	17

Chapitre III

Figure III.1- Les différents types de maintenance.....	23
---	-----------

Chapitre V

Figure V.1- Relation entre les différentes grandeurs caractérisant FMD d'un équipement...30	
Figure V.2- Histogramme de pannes par classe.....	36
Figure V.3- Courbes de la fonction de la fiabilité et de répartition.....	40
Figure V.4- Courbes de la densité de défaillance et le taux de défaillance instantané.....	40

Chapitre IV

Figure IV.1- Déroulement d'une analyse AMDEC.....	44
Figure IV.2- Mécanisme de défaillance.....	45
Figure IV.3- Principes d'évaluation de la criticité.....	47

SOMMAIRE

Introduction

Chapitre I : Présentation de l'entreprise

I.1- Introduction.....	1
I.1.1- Origine du complexe.....	1
I.1.2- Les actionnaires de FERTIAL	2
I.1.3- PRINCIPALES ACTIVITES	2
I.1.4- Objectifs de complexe.....	2
I.1.5- Les unités du complexe.....	3
I.1.6- Les unités du complexe	3
I.1.7- LES EFFECTIFS	4
I.2- Processus (acide nitrique NHO_3).....	4
I.2.1- Propriétés d'acide nitrique	4
I.2.2- L'acide nitrique agit de trois façons principales	4
I.2.3- caractéristique.....	4
I.2.4- Procédé de fabrication d'acide nitrique.....	4

Chapitre II : Etude fonctionnelle du Turbocompresseur GHH

II.1- Généralités sur les turbomachines.....	6
II.1.1- Introduction.....	6
II.1.2-Description des turbomachines.....	7
II.1.2.1- Différentes familles des turbomachines.....	7
II.1.3- Constitution des turbocompresseurs	8
II.1.4- Les turbocompresseurs	8
II.1.4.1- Définition et Classification des Compresseurs.....	8
II.1.4.2- Définition et Classification des Turbocompresseurs.....	9
II.2-Description de l'installation	10
II.3- Conception du turbocompresseur.....	11
II.3.1- Compresseur.....	11
II.3.2- Turbine à gaz.....	12
II.3.3- Turbine à vapeur	12
II.4- Fonctionnement et caractéristiques de service du GHH.....	13
II.4.1- La turbine à vapeur	13
II.4.2- Le compresseur	14
II.4.3- Turbine à gaz	15
II.4.4- Caractéristiques de service	16
II.5- Conclusion.....	18

Chapitre III : la maintenance de T.C

III.1- Définition de la maintenance.....	21
III.1.1- Les formes de la maintenance.....	21
III.1.3- La maintenance préventive systématique.....	21
III.1.4- La maintenance préventive conditionnelle.....	21
III.2- Les fonctions d'un service maintenance.....	22
III.2.1- Fonction méthode.....	23
III.2.2- La fonction d'ordonnancement.....	23
III.2.3- La fonction de la préparation.....	24
III.2.4- La fonction de lancement.....	24
III.2.5- La fonction d'exécution.....	24
III.2.6- La fonction de la gestion des stocks.....	24
III.2.7- La fonction de la gestion des coûts.....	24
III.3- La maintenance appliquée sur le turbocompresseur GHH.....	24
III.3.1- La maintenance conditionnelle.....	24
III.3.2- La maintenance systématique.....	25
III.3.3- Inspection majeur.....	26
III.4- Procédure d'une révision générale.....	26
III.4.1- Préparation.....	26
III.4.2- Travaux à effectuer lors d'une révision générale.....	26
III.4.3- Inspection des systèmes de commande et de protection.....	27
III.4.4- Test de démarrage et essai.....	28

Chapitre IV : Etude fiabiliste du turbocompresseur

IV.1- Introduction à la fiabilité.....	29
IV.2- Objectifs de la fiabilité.....	29
IV.3- Définitions et notations.....	29
IV.4- Rappels de statistiques.....	30
IV.4.1- Variable aléatoire, lois de probabilité.....	30
IV.5- Principales lois utilisées.....	32
IV.5.1- La loi exponentielle.....	32
IV.5.2- La loi de WEIBULL.....	32
IV.5.3- La loi normale.....	32
IV.5.4- La loi log-normale.....	32
IV.5.5- La loi binomiale.....	32
IV.5.6- La loi de POISSON ou loi de faibles probabilités.....	32
IV.6- Etude de la fiabilité de turbocompresseur.....	34
IV.6.1- Situation du problème et objectif de l'étude.....	34
IV.6.2- Analyse du système de renouvellements.....	34
IV.7- Le test de Kolmogorov Smirnov.....	40
IV.7.1- Procédure du test.....	41
IV.7.2- Le test de Kolmogorov Smirnov.....	41
IV.7.3- Calcul de la disponibilité.....	42
IV.8- CONCLUSION.....	42

Chapitre V : Analyse AMDEC

V.1- L'analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leurs criticités.....	43
V.1.1- Définition et objectif	43
V.1.2-L'étude AMDEC machine vis à	43
V.1.3- Cas d'application	43
V.2- Analyse Des Mécanismes De Défaillance	45
V.3-Evaluation de la criticité	47
V.4- Application de l'AMDEC sur le turbocompresseur GHH.....	49
V.4.1- Analyse du système.....	49
V.4.2-Tableaux AMDEC.....	50
V.4.5-Tableau de classification des éléments par leur criticité.....	54
V.4.6-Action correctives à engager	54
IV.5- Conclusion	55

Chapitre VI : Partie sécurité

VI.1- Définition de la sécurité.....	56
VI.2- Place de la sécurité dans l'entreprise	56
VI.3- Mission de la sécurité	56
VI.4 -Les incendie.....	57
VI.5- Les différents feux.....	57
VI.6- La sécurité au niveau de l'unité d'acide nitrique	58
VI.7- Règle de sécurité à l'intérieur des installations.....	59
VI.8- La sécurité du turbocompresseur GHH	60
VI.9- Appareils de contrôle et de sécurité	60

Conclusion

Bibliographie

Annexe

Introduction

Le souci permanent des responsables de maintenance est de fournir à leur clients internes des heures de bon fonctionnement de l'outil de production et par conséquent une disponibilité optimale d'une part et il ya des équipements et des installations de production que l'on ne peut pas se permettre d'immobiliser à tout moment telles que les machines tournantes qui jouent un rôle souvent stratégique dans un procédé de fabrication d'autre part. Pour prévenir les défaillances et assurer une disponibilité optimal, il existe heureusement des outils de surveillance puissants tel que l'analyse vibratoire, l'analyse AMDEC, l'analyse acoustique, l'analyse fiabiliste et d'autre.

Une maintenance corrective regroupe l'ensemble des actions exécutées après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise

Une maintenance préventive regroupe l'ensemble des actions exécutées à des intervalles de temps prédéterminés, ou selon des critères prescrite et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien.

Nous intéresserons dans notre étude à la maintenance préventive conditionnelle d'un turbocompresseur vu son rôle important dans la production du nitrique qui sert par la suite comme matière première pour la production d'ammoniac et enfin les engrais au niveau de l'entreprise FERTIAL.

Parmi les outils de la maintenance préventive conditionnelle utilisé pour apprécier l'état du turbocompresseur GHH, il existe deux parmi d'autre cités auparavant qui sont : l'analyse fiabiliste et l'analyse AMDEC.

L'analyse de la fiabilité dans le domaine de la mécanique est un outil très important pour Caractériser le comportement du produit dans les différentes phases de vie, mesurer l'impact Des modifications de conception sur l'intégrité du produit, qualifier un nouveau produit et Améliorer ses performances tout au long de sa mission.

En mécanique, l'analyse de la fiabilité apporte des réponses à plusieurs interrogations : Quels sont les composants qui provoquent la panne du système mécanique ? Quelles sont-les Influence des incertitudes sur les données, en particulier sur la performance du produit ? Quel Niveau de contrôle de qualité doit-on satisfaire ? Quelles sont les paramètres qui interviennent Dans le dimensionnement de la structure pour une précision donnée? Comment optimiser L'utilisation du matériel ? Etc....

L'AMDEC pour but d'évaluer et de garantir la fiabilité, la maintenabilité, la disponibilité et la sécurité des machines par la maîtrise des défaillances, elle a

pour objectif final l'obtention, au meilleur coût, du rendement global maximum des machines de production et équipements industriels.

Le document synthétique de notre travail est présenté comme suite :

- ✓ **Introduction générale**
- ✓ **Chapitre I :** Dans ce chapitre on va vous présenter le complexe FERTIAL, ainsi que leur organisme principal, on s'est approfondis dans la connaissance des installations des machine de l'unité d'acide nitrique de notre projet ;
- ✓ **Chapitre II :** Dans ce chapitre on donne un aperçu sur les turbomachines, sur leur conception, les écoulements et équation de base. il faut connaitre également la machine et son environnement pour mieux connaitre l'exploiter et mieux la maintenir ;
- ✓ **Chapitre III :** Dans ce chapitre nous présentons brièvement une notion sur la maintenance, ainsi la maintenance de notre équipement
- ✓ **Chapitre IV :** A partir de l'analyse de l'historique des pannes de machine, nous faisons une étude fiabiliste du turbocompresseur GHH
- ✓ **Chapitre V :** Dans ce chapitre nous proposons des méthodes d'analyse des défaillances : AMDEC (Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité) qu'est un outil facilitant la connaissance de l'équipement .Donc contribuant à la réduction des temps de diagnostic des pannes avec une proposition d'un plan de maintenance.
- ✓ **Chapitre VI :** Renseignement sur la sécurité de l'utilisation d'un turbocompresseur au cours de son fonctionnement.
- ✓ **Conclusion**

I.1-Introduction

I.1.1-Origine du complexe

Le complexe des engrais phosphatés et azotés de ANNABA à été construit dans les années soixante dix par la société SONATRACH dans le but de satisfaire les besoins du pays en fertilisants et éventuellement exporté les excédents.

En 1985, suite à la restructuration de SONATRACH, ASMIDAL a été crée pour prendre en charge la production, la commercialisation et le développement des activités de production des engrais et phytosanitaires.

En 1991, l'EPE ASMIDAL a retenu dans son plan de restructuration de la filiation des deux plateformes de production des engrais d'ANNABA et d'ARZEW. C'est ainsi qu'en 2000 les filiales d'Arzew et d'Annaba ont vu le jour.

Au mois de janvier 2005 et dans le cadre de l'ouverture du capital des filiales et suite à l'intérêt de groupe VILLAR MIL (Espagne) pour une prise de participation dans le groupe ASMIDAL, les patrimoines des plateformes de production ont été regroupés dans la filiale FERTIAL.

Le 04 août 2005, ASMIDAL et le groupe VILLAR MIR ont conclu un accord portant prise de participation de ce dernier dans FERTIAL par voie d'augmentation du capital à hauteur de 160 millions de dollars US, le ramenant ainsi à 17,7 milliard de dinars algériens [1].

Image satellite FERTIAL



I.1.2-Les actionnaires de FERTIAL

Group VILLAR MIR à 66%

Group VILLAR MIR est un groupe espagnol industriel, privé diversifié et présent dans plusieurs secteurs actifs. Son chiffre d'affaire en 2005 est de 3450 millions d'euros. Dans le secteur des engrais, il dispose à travers sa filiale FERTIBERIA, d'une capacité de production d'engrais de 5,6 millions tonnes.

Groupe ASMIDAL à 34% :

Pionnier en Algérie dans la production et la commercialisation des engrais et d'ammoniac.

I.1.3-Organisation

La société des fertilisants d'Algérie par abréviation « FERTIAL » est une société par action. Elle est chargée de la production, de la commercialisation et du développement des engrais, ammoniac et divers. Son siège social est à Annaba et son potentiel de production est localisé à Annaba et à Arzew.

I.1.4- PRINCIPALES ACTIVITES

FERTIAL d'ANNABA présente plusieurs activités, nous pouvons citer les activités les plus importantes.[1]

- Production d'ammoniac (NH₃).
 - capacité : 1000 T/J soit 330000T/An

- production d'ammonium :
 - 02 lignes de 400 T/J soit 264000 T/An.

- Production des engrais phosphatés :
 - 02 lignes de 1000 T/j chacune soit 500000 T/An.

- NPK 15.15.15 S
- NPK 15.15.15 C
- PK 04.20.25.
- TSP 0.46.0
- SSP (super simple phosphate) :
 - 1200 T/J soit 396000 T/An
- UAN (urée acide nitrique) :
 - 600 T/J soit 198000 T/An
- Des engrais azotés :
 - Nitrique d'ammoniac
 - UAN 32 %
 - Urée 46% (importée)
 - sulfate d'ammonium (importée)

- une partie du nitrate et de l'ammoniac, est autoconsommé par FERTIAL, pour la production d'autres produits.

I.1.5-Objectifs de complexe

Dans le cadre national du développement économique et social du pays, l'entreprise est chargée de :

- Promouvoir et développer l'industrie des engrais et produits phytosanitaires ;
- Exploiter, gérer et rentabiliser les moyens humains, matériels et financiers dont elle dispose ;
- Satisfaire les besoins du marché national et international ;
- Favoriser l'épanouissement de l'esprit d'imagination et l'initiative et faite appel aux moyens locaux ;
- Développer la coopération dans le cadre de la politique nationale en la matière.

L'exportation des produits :

Production	Pays
NH ₃	- Espagne ; France ; Italie ; Grèce ; Belgique
Nitrates	- Tunisie ; Maroc...
UAN	- France ; Espagne ...
SSP	- Maroc ; Grèce ; France ; Italie et le Brésil

Tableau I.1 :l'exportation des produits de l'entreprise

I.1.6-Les unités du complexe

- Unité d'Acide Nitrique ;
- Unité Nitrate d'Ammonium ;
- Unité de dessalement d'eau de mer ;
- Unité SSP destiné pour la fabrication des deux types d'engrais ;
- Unité NPK ;
- Unité d'Ammoniac...ect.

I.1.7- LES EFFECTIFS

FERTIAL est dirigée par un président directeur général (PDG) [1]

Elle emploie environ 831 travailleurs répartis comme suit :

- Cadres supérieur : 51.
- Cadres : 389.
- Maitrises : 391.

I.2-Processus (acide nitrique HNO_3)

I.2.1-Propriétés d'acide nitrique :

L'acide nitrique concentré de (96 à 98%) constitue un agent d'oxydation bien fort et puissant, dans un mélange azéotropique, ayant la température d'ébullition maximale de 120.5°C , et la composition de 68.4% de HNO_3 .

I.2.2-L'acide nitrique agit de trois façons principales :

-  Sous forme d'acide fort
-  Agit connue un agent de nitration
-  Aussi un fort agent oxydant

L'acide concentré on dilue est transparent, mais il acquit au cours du temps une couleur jaunâtre résulte de présence du gaz nitreux NO_2 dissout.

I.2.3-caractéristique :

- Formule HNO_3 .
- Masse : implique l'incolore, mixité à l'eau, à toute proportion.
- Point de la fusion : 42°C
- Point d'ébullition il dépend de la concentration de l'acide.
- Densité : concentré 57%

I.2.4-Procédé de fabrication de HNO_3 :

L'unité d'acide nitrique comporte deux lignes identiques ayant une capacité de 800t/j [2]

Elle comprend cinq sections :

1. Section de filtration et compression de l'air.
2. Section d'évaporation de l'ammoniac et mélange avec l'air.
3. Section de conversion de l'ammoniac.
4. Section d'oxydation – absorption
5. Blanchiment

Les deux premières sections entrent dans le cadre de la préparation des matières premières : l'air et l'ammoniac.

La troisième et la quatrième section représentent les étapes proprement dites de la fabrication de l'acide nitrique.

✓ **1-Filtration et compression de l'aire :**

La filtration de l'air est effectuée dans une batterie de filtres comprenant un pré filtre à déroulement qui retient les particules supérieures à 3 microns et d'un filtre final retenant les particules supérieures à 1 micron.

Après filtration l'air comprimé à 7.95 bar abs, dans un compresseur bé-étage entraîné par une turbine à vapeur et une turbine de détente, entre les deux étages on utilise un réfrigérant intermédiaire pour le refroidissement de l'air par l'échange avec l'eau.

✓ **2-Filtration de l'ammoniac et mélange (ammoniac-air) :**

L'ammoniac liquide traverse un filtre à ammoniac liquide pour l'élimination de toute trace d'eau et d'huile, puis l'évaporateur d'ammoniac où il est évaporé au moyen d'eau de refroidissement déjà réchauffée à 35°C.

L'ammoniac gazeux est dirigé en suite vers le mélangeur.

✓ **3-filtration de mélange et conversion de l'ammoniac :**

Avant le catalyseur de platine le mélange gazeux et de nouveau filtre, pour retenir les particules de rouille. Et après cette dernière le mélange (ammoniac-air) atteint le catalyseur où l'ammoniac est converti en oxyde d'azote (NO)

✓ **4-oxydation et absorption :**

La majeure partie de la vapeur d'eau contenue dans les gaz y est condensée ce qui forme l'acide nitrique faible le (NO) est oxydé en (NO₂) qui réagit avec l'eau pour former l'acide nitrique, celui-ci s'écoulant vers le système d'absorption.

✓ **5-blanchiment :**

L'acide nitrique quittant la colonne d'absorption contient encore des gaz nitreux qui lui donnent une couleur rouge jaunâtre, mais après son passage dans la colonne de blanchiment où elle est installée dans le fond de la colonne d'absorption il devient blond, est dirigée vers les réservoirs de stockage.

II.1- Généralités sur les turbomachines

II.1.1- Introduction

Les turbomachines sont les pièces maîtresses de domaine stratégique comme l'industrie pétrochimique (turbocompresseur, pompes), le transport (moteur d'avions, turbocompresseur de véhicules automobiles), et la production d'énergie (turbine à vapeur, turbine à gaz,...).

Donc tout processus énergétique consiste à organiser des transferts de travail et de chaleur et à les réaliser dans des appareils appropriés.

Les turbomachines: pompes, ventilateur, compresseur et turbine qui manipulent des débits de fluide plus grand que les machines volumétriques, jouent dans ces conversions d'énergie un rôle important d'échangeur de travail entre le fluide et un organe mécanique dont la partie en mouvement est constitué d'un rotor muni d'ailettes.

Pour les applications industrielle dès que le débit volumique devient trop faible (1000m³/h), il est plus avantageux d'abandonner les turbomachines pour adopter les techniques bien connus des machines volumétriques [3].

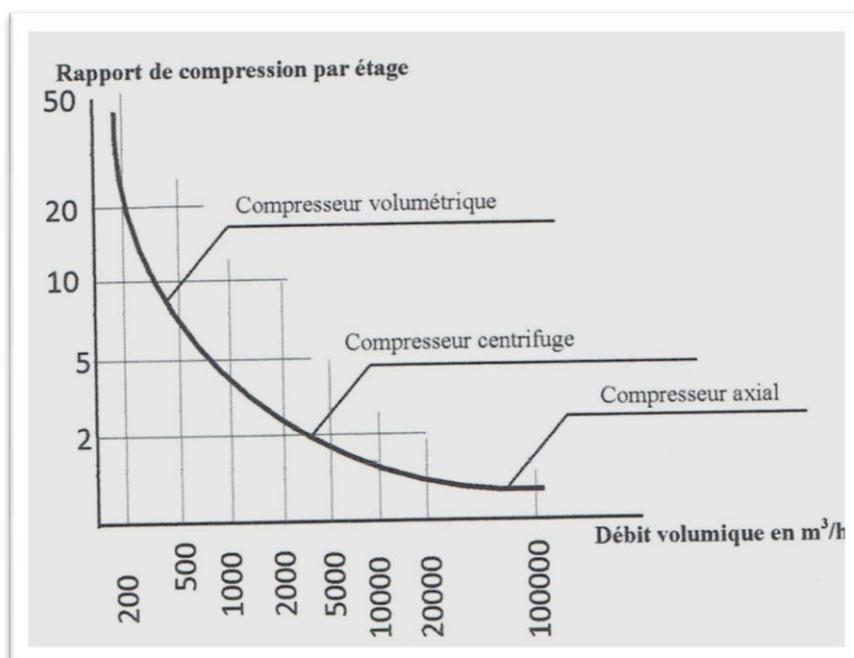


Fig. II.1 : Forme des roues et caractéristiques approchées des machines

Donc comme définition on appelle turbomachines un ensemble mécanique de révolution comportant une ou plusieurs roues (rotors) mobiles munies d'arbres (aubages, ailettes) qui ménagent entre elle des canaux à travers les quels s'écoule toutes sorte de fluide : les plus courants sont l'eau et sa vapeur, l'air et l'huile.

Ces fluides évoluent entre 02 niveaux de pression, a fin d'obtenir des transferts énergétiques conséquent entre le fluide véhiculé et l'arbre de la machine, les vitesses d'écoulement doivent être importantes [3].

II.1.2- Description des turbomachines

II.1.2.1 -Différentes familles des turbomachines

Une turbomachine est un ensemble mécanique dont le rôle est d'assurer un échange d'énergie entre un fluide en écoulement et un rotor animé d'un mouvement de rotation généralement uniforme autour de son axe.

Comme si en apporte de l'énergie à un fluide cette apport s'accompagne d'une croissance de sa pression et inversement gn emprunt d'énergie s'accompagne d'une décroissance de sa pression, on parle de turbomachine génératrice ou de compression et de turbomachine réceptrice ou de détente.

Les turbomachines de détente porte le nom de turbine, alors que celles de compression se subdivisent en :

- Pompes, dans lesquelles le fluide en mouvement est liquide, et donc incompressible;
- Ventilateurs, dans lesquels le fluide gazeux se comporte de manière incompressible c'est-à-dire que sa variation de volume massique au cours de la traversée de la machine est négligeable ;
- Les compresseurs et soufflantes dans lesquelles la compressibilité du fluide gazeux intervient.

Une autre classification à présentée est celle qui prend en charge la direction principale du tube de courant;

Dans certaines machines, le tube de courant traversant la machine est essentiellement parallèle à l'axe de la machine, et on les appelle donc des machines axiales. Les hélices aériennes et marines appartiennent à cette catégorie, mais aussi certains ventilateurs, ainsi que les compresseurs et turbine axiaux des turboréacteurs, et les turbine hydraulique de type Kaplan dont ces turbines sont des machines à réaction adaptées à la faible chute et aux débits élevés [3]

Dans de nombreux cas les machines axiales comportent plusieurs étages et c'est le cas notamment de la turbine à vapeur accouplée au compresseur axial sur les quelles notre étude est faite.

Dans d'autres machines au contraire, le tube de courant traversant la machine est essentiellement perpendiculaire à l'axe, et la machine est dite radiale (centrifuge centripète).

Bien évidemment, au voisinage de l'axe, l'écoulement doit prendre une direction axiale, il existe des configurations intermédiaires, dites mixte.

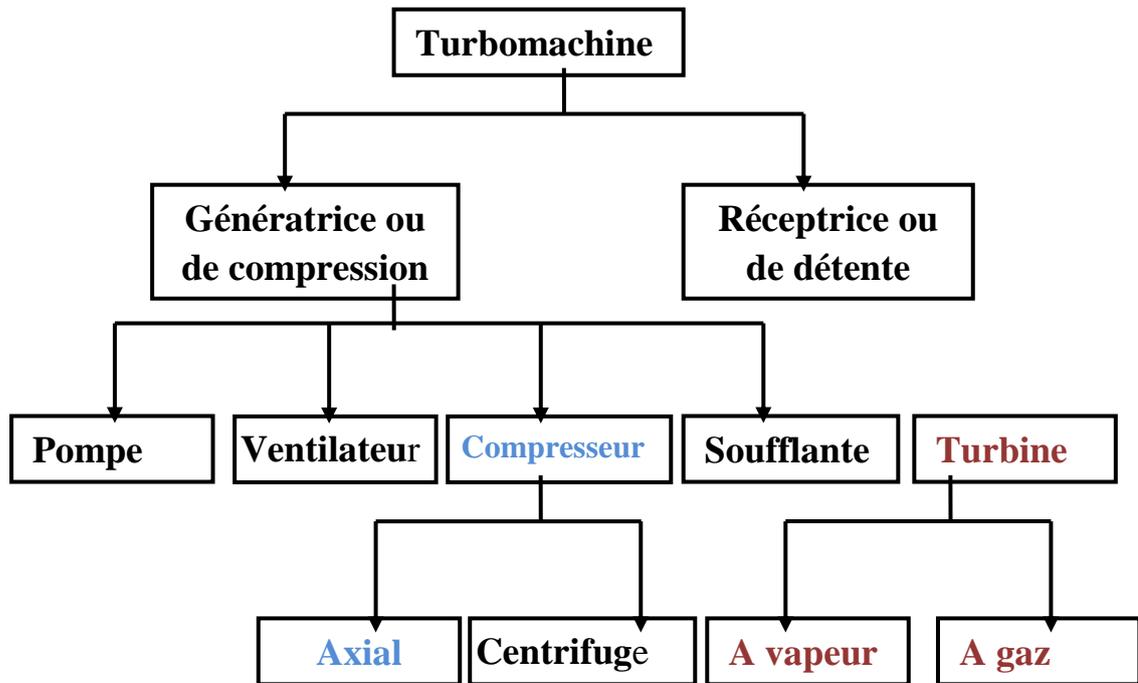


Fig. II.2 Différentes familles des turbomachines

II.1.3- Constitution des turbocompresseurs

Une turbomachine comporte outre les roues mobiles, organes spécifiquement moteurs ou récepteurs, des dispositifs fixes situés en amont ou en aval de celles-ci. Certains de ces dispositifs son réglables. Leur rôle est:

- d'amener ou d'évacuer le fluide (canal d'aspiration, volute...)
- de donner au fluide une orientation convenable (roue directrice)
- de transformer l'énergie mécanique du fluide en énergie de pression ou le contraire (roue, grilles d'aubes, diffuseurs...).

II.1.4-Les turbocompresseurs

II.1.4.1 -Définition et Classification des Compresseurs

Les compresseurs peuvent être divisés en deux familles [4].

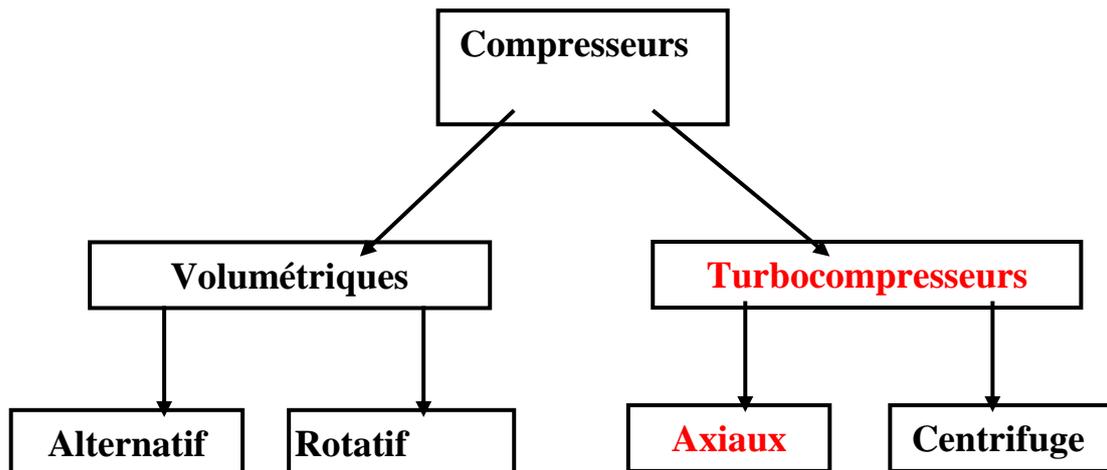


Fig. II.3 : Différentes familles des Compresseurs

a) Les compresseurs Volumétriques

Le compresseur volumétrique est une machine réceptrice, il peut être rotatif (vis, palette...) ou bien alternatif (à pistons).

La transformation du travail reçu en énergie de pression se fait en diminuant le volume du fluide qui traverse la machine.

b) Les Turbocompresseurs

Les Turbocompresseurs sont des turbomachines dans lesquelles le fluide reçoit de l'énergie mécanique d'une ou plusieurs roues mobiles (monocellulaire ou multicellulaire). Le Turbocompresseur est axial ou Centrifuge.

II.1.4.2- Définition et Classification des Turbocompresseurs

a) Les Turbocompresseurs Axiaux

Les Turbocompresseurs axiaux sont des turbomachines où le fluide a une trajectoire axiale.

b) Les Turbocompresseurs Centrifuges :

Les Turbocompresseurs Centrifuges sont des turbomachines où le fluide a une trajectoire centrifuge.

Ils sont constitués de quatre parties :

1. Le Distributeur
2. Le Rotor
3. Le Diffuseur
4. La Volute

II.2-Description de l'installation

Le groupe compresseur fournit l'air nécessaire à la production d'acide nitrique.

Le compresseur axial aspire l'air atmosphérique, le comprime à la pression nécessaire au processus, en passant par un réfrigérant intermédiaire, et l'introduit dans le réseau du processus à travers un clapet de retenue.

Le compresseur est doté d'un réglage du débit limite de pompage. Lorsque le débit du compresseur s'approche de la courbe limite, l'air refusé par les consommateurs est évacué à travers une soupape de réglage.

En outre, en cas d'une panne de ce système, ou à l'apparition soudaine de perturbation dans le processus, un l'imitateur de pompage réagit dès le premier coup de pompage du compresseur et ouvre immédiatement la soupape d'échappement.

L'entraînement principal du compresseur est assuré par une turbine à vapeur de condensation avec réglage sur vitesse constante. La vitesse peut être réglée manuellement sur place ou pneumatiquement à partir du poste de commande.

La vapeur pénètre dans la turbine à travers un tamis, une soupape de fermeture rapide de démarrage et un groupe de soupapes de commande de la vapeur vive. Après son passage à travers la turbine, la vapeur est condensée dans une installation de condensation avec réglage automatique du niveau de condensat.

En service normal, l'installation est alimentée en vapeur vive pour la turbine par des échangeurs de température servant au refroidissement de gaz chauds tandis qu'au démarrage et durant la marche d'arrêt, la vapeur vive doit être fournie par un réseau auxiliaire.

Une turbine de détente à gaz résiduaire provenant de la production d'acide nitrique sert d'entraînement secondaire au compresseur. Ce n'est qu'à l'aide de l'énergie résiduaire du gaz que la pleine puissance à l'entraînement du compresseur peut être obtenue. Après avoir traversé la turbine de détente, le gaz résiduaire détendu est conduit à l'air libre à travers une cheminée.

Les boîtes d'étanchéités de la turbine de détente ainsi que les passages de tiges des soupapes à réglage manuel sont obturées par de l'air comprimé soutiré du compresseur à une pression convenable et s'opposant à la fuite de gaz.

En cas d'une mise à l'arrêt de la turbine à vapeur, le clapet d'étranglement à commande hydraulique réglant l'entrée du gaz résiduaire dans la turbine de détente se ferme automatiquement tandis que la soupape de by-pass à commande également hydraulique qui se trouve entre l'entrée et la sortie du gaz résiduaire s'ouvre automatiquement. Le gaz résiduaire venant encore du réseau peut donc 'échapper directement par la cheminée sans devoir passer par la turbine.

Le système d'huile du type compact fournit non seulement l'huile pour les paliers et autres points de lubrification des machines et de leurs accessoires, mais aussi l'huile motrice pour les régulateurs et les positionneurs. En plus de la pompe à huile principale, entraînée par une petite turbine à vapeur, on dispose également d'une pompe à huile auxiliaire entraînée par un moteur triphasé ainsi qu'une pompe de détresse entraînée par un moteur électrique à courant continu. Un réservoir d'huile en charge assure la lubrification de paliers durant la marche d'arrêt dans le cas où aucune des pompes installées ne serait à même d'assurer leur service.

L'installation est équipée de tous les appareils de contrôle, de réglage et d'alarme nécessaire pour assurer une bonne surveillance, garantie d'un service impeccable.

En outre, le dispositif de fermeture rapide de la turbine à vapeur ainsi qu'une soupape électrique à trois voies intervenant dans le flux d'huile de cette turbine sont intégrés dans une chaîne de verrouillage sensible aux alarmes centrales de sorte que dès l'apparition de différentes perturbations, toute l'installation est mise à l'arrêt par la soupape de fermeture rapide [5].

II.3- Conception du turbocompresseur

II.3.1- Compresseur

Le compresseur est composé des parties essentielles suivantes :

a) L'enveloppe à joints horizontale avec les tubulures d'aspiration et de refoulement, reposant avec ses pattes coulées sur 2 chevalets de palier qui sont reliés au guidage avant et arrière de l'enveloppe. Un des chevalets étant mobile sur la plaque de base, l'enveloppe peut se dilater librement en direction axiale.

b) Sur les cotés frontaux, l'enveloppe est étanchéifiée par des labyrinthes.

c) Les porte-aubes directrices en 2 parties sont vissées puis posées dans la partie inférieure de l'enveloppe et fixées axialement. Les aubes directrices sont assemblées en demi-anneaux et montées fermement dans les porte-aubes.

d) Les diffuseurs en 2 éléments, sont logés sans triquement dans les parties supérieure et inférieure de l'enveloppe et assurés contre tout mouvement par des boulons disposés dans le joint

e) L'arbre du compresseur est forgé en 1 pièce et équilibré dynamiquement après le montage des étages radiaux finals, de la douille portant les aubes mobiles, des douilles de protection de l'arbre et de la moitié d'accouplement.

f) Le rotor du compresseur repose dans des paliers lisses, régulés, lubrifiés par huile sous pression. Il est fixé axialement dans un palier de butée à segments culbutant approprié pour les 2 directions de poussée et de rotation [5].

II.3.2- Turbine à gaz

Voici quelques détails constructifs :

a) L'enveloppe à joint horizontal et avec une tubulure d'échappement bridée, pour sortie axiale, s'appuie sur une plaque de base à l'aide de consoles latérales et de poteaux. A la face frontale, l'enveloppe est fermement boulonnée à la partie inférieure du palier droit fixe du compresseur, tandis que le côté sortie du gaz est guidé sur la plaque de base par une languette, pour pouvoir suivre les mouvements de dilatation.

b) Sur sa face frontale, l'enveloppe est étanchéifiée par une boîte à labyrinthe qui, à l'aide d'un fluide d'obturation, s'oppose à la sortie du gaz ou par laquelle le gaz de fluide est évacué par aspiration.

c) Le rotor de turbine avec sa douille forgée est emmanché en porte-à-faux sur le bout de l'arbre du compresseur. Les pieds des aubes mobiles sont fixés dans la rainure du rotor (rainure et pied des aubes en forme de tête de marteau), puis affermis par une pièce terminale. Le rotor commun du compresseur et de la turbine, avec tous les accessoires, est dynamiquement équilibré.

d) Les poussées axiales de la turbine sont absorbées par le piston d'équilibrage du compresseur, ainsi que par le palier de butée du rotor.

e) Le rotor repose dans des paliers lubrifiés et garnis de métal antifriction. Il est fixé) 1< en direction axiale dans le palier droit du effet, à segments basculants, agissant dans les deux sens de la poussée et dans les deux sens de rotation [5].

II.3.3- Turbine à vapeur

La turbine se compose des parties essentielles suivantes :

a) L'enveloppe de vapeur vive, à joint horizontale, soumise à une haute pression et à une température élevée, est en acier moulé. Elle est boulonnée au fond d'échappement en fonte grise également à joint horizontale. Avec ses deux pattes à l'avant, l'enveloppe s'appuie sur un chevalet droit séparé et est reliée à celui-ci par un guidage spécial. Le chevalet droit à l'arrière est coulé en un bloc avec la partie inférieure du fond d'échappement qui s'appuie avec ses pattes latérales sur la plaque de base, ou il n'est fixé dans le sens axial de manière qu'une dilatation latérale n'est

pas empêchée. Le chevalet arrière est en outre commandé axialement sur la plaque de base. Par contre, le chevalet avant est fixé sur la plaque de base de façon mobile pour pouvoir compenser les dilatations dans le sens axial.

b) Les segments à tuyères avec les logements pour les soupapes de commande de la vapeur vive sont coulés en un bloc avec la partie supérieure de l'enveloppe de vapeur vive. La soupape de fermeture rapide est, soit bridée, soit coulée latéralement sur l'espace de vapeur vive commun des segments à tuyères.

c) Les soupapes de l'arbre à travers l'enveloppe sont étanchéifiées par des labyrinthes munis d'une lanterne à vapeur de barrage ou d'extraction de vapeur de fuite et d'une 2^e lanterne pour l'évacuation des butées.

d) Le porte-aube directrices HP en deux parties, est suspendu avec jeu de dilatation par des boulons de serrage latéral. Des épaulements assurent la fixation dans le sens axial et l'étanchéité entre les parties HP et BP de la turbine. Le porte-aubes directrices BP également en deux parties est fermement boulonné aux parties supérieure et inférieure du fond d'échappement.

e) Le rotor de turbine est forgé en un bloc avec ses extrémités d'arbres, du disque de la roue de réglage du piston d'équilibrage. Les pieds des aubes mobiles sont sertis dans les rainures de la roue de réglage et du rotor puis fixée. L'extrémité avant de survitesse qui cause l'arrêt du groupe au Dépassement de la vitesse admise de la turbine par le truchement d'un dispositif de fermeture rapide. Après l'assemblage complet, le rotor subit un équilibrage dynamique.

f) Le rotor de la turbine repose dans des paliers lisse régulés et lubrifiés par l'huile sous pression. Il est fixé en direction axiale dans un palier de butée à segments culbutant et à double effet, agissant dans les deux sens de poussée et de rotation. L'arbre de la turbine entraîne, par l'intermédiaire d'une barre de torsion, un Gyroscope produisant une pression d'huile en fonction de la vitesse, il entraîne en même temps le tachymètre [5].

II.4- Fonctionnement et caractéristiques de service du GHH

(D'après documentation technique) [5].

II.4.1- La turbine à vapeur

La turbine de condensation est une machine motrice multi étagée dans laquelle la vapeur traverse plusieurs étages, les uns derrière les autres, aux fins d'une utilisation économique de son énergie. Après quoi, la vapeur est transformée en eau dans un condenseur, la chute de température de la vapeur est utilisée non seulement jusqu'à la pression atmosphérique, mais étant donné le vide aussi élevé que possible qui règne dans le condenseur jusqu'à une pression inférieure à $0,1 \text{ Kg/cm}^2$.

La capacité de la turbine dépend du débit de vapeur et de la chute de température dont on dispose, c'est-à-dire de l'état de la vapeur devant les soupapes de réglage de la vapeur vive et la pression derrière le dernier étage, c'est-à-dire de la pression dans le condenseur.

Les soupapes de commande de la vapeur vive admettent, dans les boîtes à tuyères correspondantes, seulement le débit de vapeur nécessaire au rendement réclamé. Les tuyères conduisent la vapeur dans l'étage de réglage de la turbine, et de là, dans les étages de surpression qui font suite. Une partie de la chute disponible est transformée en énergie dans les aubes directrices et le reste dans les aubes mobiles. Des pressions différentes règnent devant et derrière les aubes directrices (aubages de surpression). La vapeur sort par le fond d'échappement, elle est transformée en eau dans le condenseur.



Fig. II.4 : Photographie turbine à vapeur

II.4.2- Le compresseur

Le compresseur axial est une turbomachine divisée en deux groupes d'étages que le fluide parcourt dans le sens axial. Grâce à la disposition opposée des flux dans les deux groupes d'étages, la poussée axiale du rotor est largement compensée. La poussée restante est absorbée par un piston d'équilibrage et le palier de butée.

Pour l'obtention d'un encombrement réduit, chaque groupe d'étages axiaux est suivi d'un étage final radial. Pour réduire le besoin en puissance du compresseur, le fluide à comprimer passe par un réfrigérant intermédiaire agencé entre les deux groupes d'étages. Le fluide est aspiré de manière qu'il est accéléré continuellement. L'augmentation de la pression est obtenue par la décélération du flux entre les aubes mobiles et directrices à faible interstices ainsi que dans les diffuseurs faisant suite aux étages finals radiaux ou l'énergie de la vitesse du fluide est convertie en énergie de pression.



Fig. II .5 : Photographie compresseur axial d'air

II.4.3- Turbine à gaz

Dans la turbine de détente, les gaz résiduels venant d'un processus chimique sont détendus et l'enthalpie de ces gaz est transformée en énergie cinétique. La transformation de la chute d'enthalpie en vitesse se fait en partie dans les canaux de guidage et en partie dans les aubes mobiles. Le rendement dépend du débit du gaz et de la chute de l'enthalpie. Cette dernière est déterminée par l'état du gaz à l'entrée de la turbine et par la pression en aval du deuxième étage.

La turbine ne dispose pas d'un réglage propre. Le gaz arrive dans la turbine par un groupe de tuyères à alimentation directe, ainsi que par deux groupes additionnels qui, à l'aide de deux soupapes manœuvrées à la main, sont ouverts ou fermés séparément selon la disponibilité du gaz. Après avoir traversé la turbine, le gaz sort par la tubulure d'échappement, puis il est évacué par une cheminée.

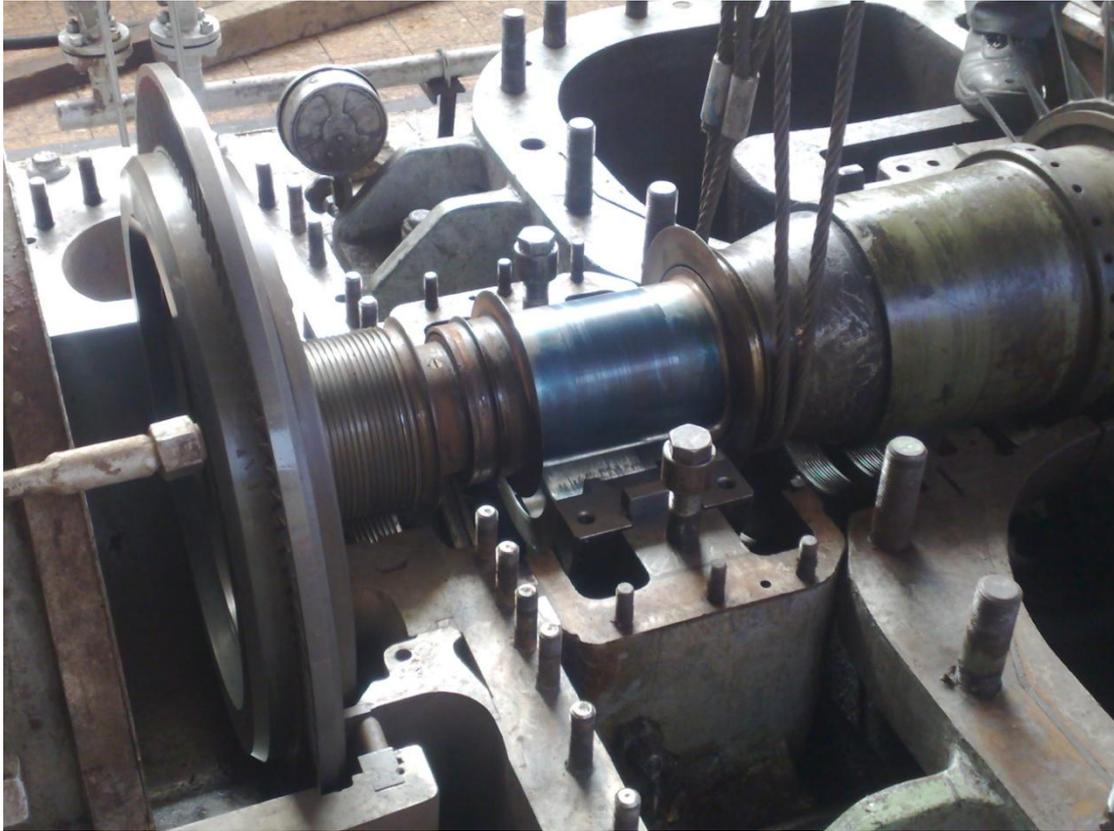


Fig. II.6 : Photographie turbine à gaz

II.4.4- Caractéristiques de service

a) turbine à vapeur

- Pression de la vapeur vive 42 bar
- Température de la vapeur vive 430 °c
- Pression de la vapeur à l'échappement 0,098 bar
- Vitesse 5500-7730 tpm

b) turbine à gaz résiduaire

- Pression du gaz à l'entrée 6,75 bar abs
- Température du gaz à l'entrée 180°c
- Pression du gaz à la sortie 1,06 bar abs
- Température du gaz à la sortie 33-55°c

c) compresseur

- pression à l'aspiration 1,015 bar abs
- Température à l'aspiration 25°c
- Pression en aval du réfrigérant intermédiaire 2,4 bar

- Température en aval du réfrigérant intermédiaire 85 °c
- Pression au refoulement 7,95 bar abs
- Température au refoulement 206 °c

d) l'huile :

- Pression de l'huile de force en aval du Dispositif de fermeture rapide 10 bar
- Pression de l'huile de lubrification dans La tuyauterie de distribution 2,5 bar
- Perte de charge à travers le filtre d'huile au max 0,8 bar
- Température de l'huile en aval du réfrigérant 40-45 °c
- Température de l'huile dans les paliers des machines 60-70 °c
- Pression de l'huile en amont des paliers 0,5-1,7 bar

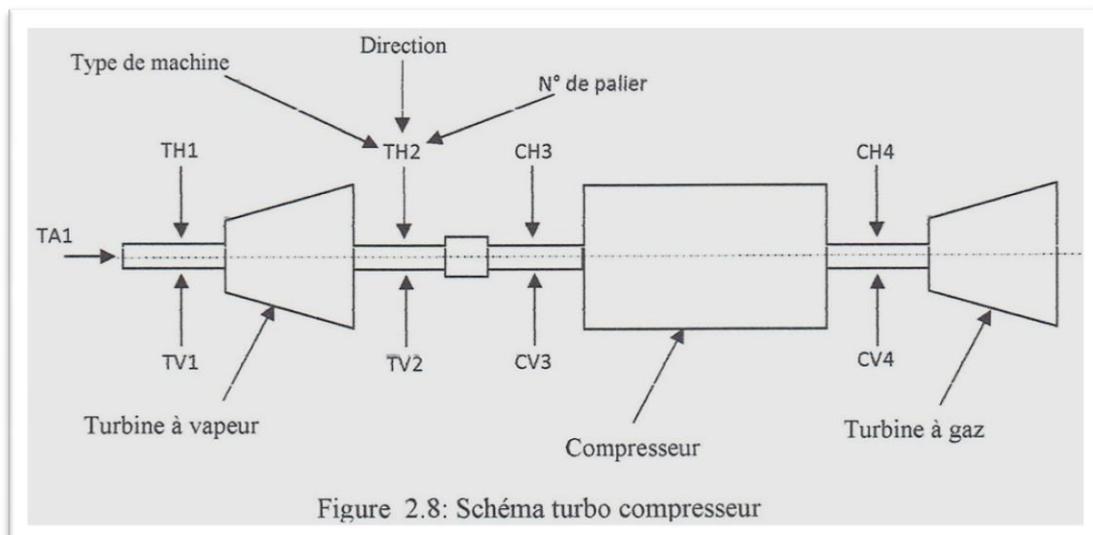


Fig. II.7 : Schéma turbo compresseur

II.5-Conclusion

Le fonctionnement des turbomachines notamment les turbocompresseurs doit être suivi au cours de l'exploitation; il est certain que les machines de compression (compresseur), comme tous les appareils qui traitent de fluides compressibles, génèrent et transmettent aisément les vibrations et dispersent une énergie sonore (pompage) qui peut être importante.

On outre et vu l'importance des turbocompresseurs dans les procédés de fabrication des produit (nitrique) et vu leur coût important et leur puissance aussi importante il est indispensable de les surveiller de pris et avec soin.

Bref, la maintenance préventive conditionnelle est la méthode la plus pertinente et judicieuse pour assurer la surveillance et pour atteindre l'optimum de disponibilité de ce genre d'installation.

Les différents facteurs pouvant provoquer des anomalies de fonctionnement où, même, des incidents se traduisent par l'augmentation des vibrations et des variations des écarts de température (température d'huile et de gaz) entre l'entrée et la sortie de la machine.

III.1- Définition de la maintenance

D'après la norme AFNOR X60-010 [6] la maintenance est définie comme " l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé ".

Maintenir c'est donc effectuer des opérations (de nettoyage, graissage, visite, réparation, révision, amélioration...etc.) qui permettent de conserver le potentiel du matériel pour assurer la continuité et la qualité de production, ainsi que choisir les moyens de prévenir, de corriger ou de rénover suivant l'utilisation du matériel. L'état d'esprit de la maintenance est de maîtriser les interventions.

La maintenance a pour but :

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

III.1.1- Les formes de la maintenance

On distingue dans le milieu industriel trois types de maintenance:

- ✚ La maintenance corrective;
- ✚ La maintenance préventive systématique;
- ✚ La maintenance préventive conditionnelle.

III.1.2- La maintenance corrective

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

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

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

III.1.3- La maintenance préventive systématique

D'après la norme AFNOR X60-010, la maintenance systématique se définit comme " une maintenance effectuée selon des critères prédéterminés dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien".

La maintenance préventive systématique, c'est l'ensemble des visites systématiques effectuées préventivement, préparées et programmées avant la date probable d'apparition d'une défaillance. Attendre que la machine tombe en panne pour la réparer semble être à priori la solution la plus mauvaise, c'est pourquoi certains utilisateurs choisissent la maintenance systématique périodique, mais cette méthode ne tient pas compte des conditions d'utilisation ou de montage.

Car la plupart du temps; des éléments sont remplacés alors qu'ils seraient encore utilisables ou des composants endommagés sont remis en état trop tardivement.

III.1.4- La maintenance préventive conditionnelle

D'après la norme AFNOR X60-010, la maintenance conditionnelle se définit comme « une maintenance préventive subordonnée à un type d'évènement prédéterminé (auto diagnostique, information d'un capteur, mesure d'une usure) révélateur de l'état de dégradation du bien ».

La maintenance conditionnelle est synonyme de la maintenance en condition "selon l'état" ou prédictive, terme réservé à l'usage aux machines tournantes.

Cette forme de la maintenance permet d'assurer le suivi continu du matériel en service dans le but de prévenir les défaillances attendues. La maintenance conditionnelle est liée à l'état de la machine:

- ◆ Composant à changer uniquement si les tolérances sont atteintes...etc.
- ◆ Arrêt de la machine uniquement si son état le nécessite.
- ◆ Rotor à équilibrer si les tolérances sont atteintes.

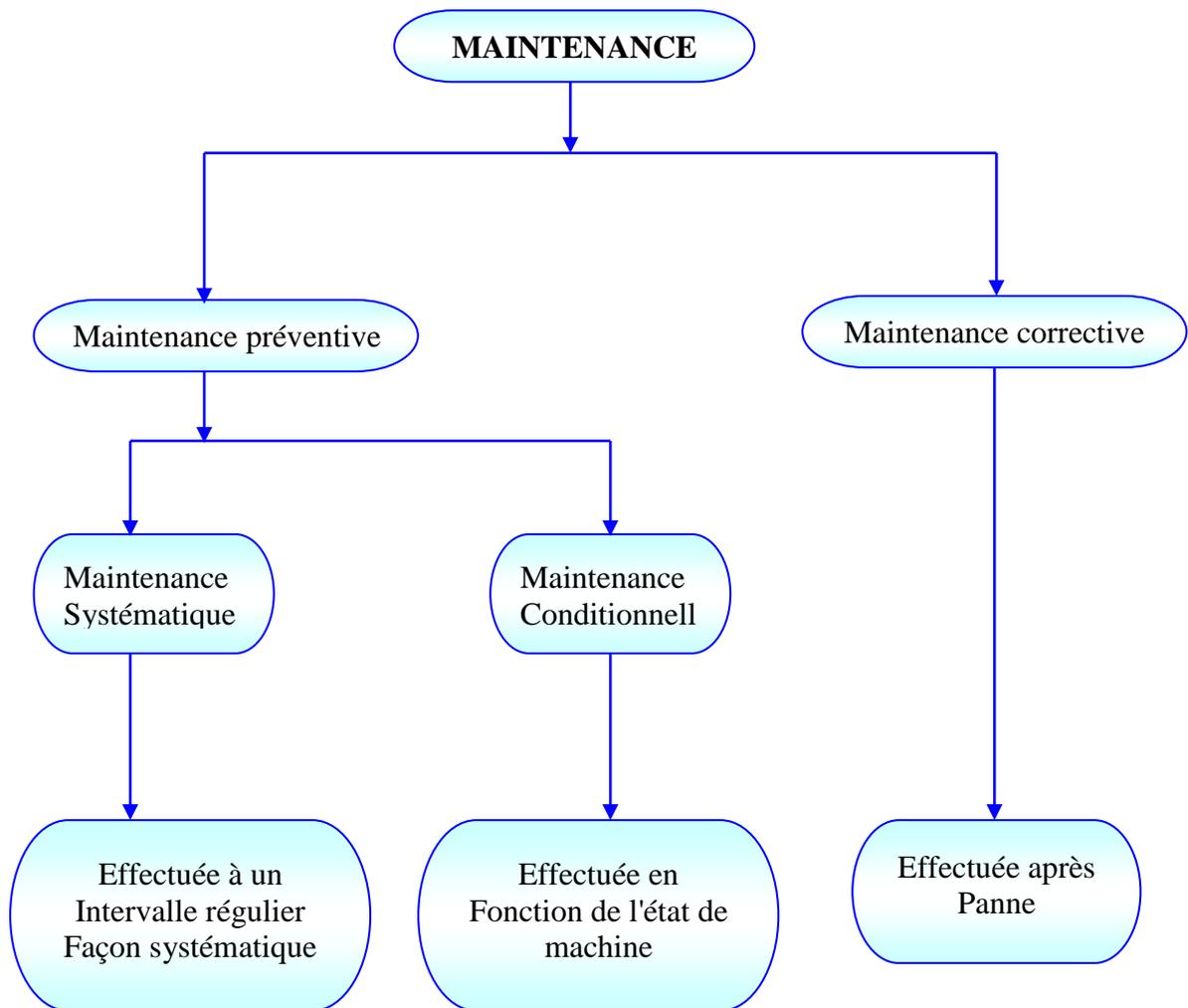


Fig. III.1 : Les différents types de maintenance.

III.2- Les fonctions d'un service maintenance

III.2.1- Fonction méthode

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

- ce qu'il faut faire, avec qui le faire et comment le faire;
- les méthodes et les techniques d'intervention;
- les moyens et les normes d'entretien;
- la création et l'exploitation de la documentation technique et historique;
- l'élaboration des méthodes d'entretien.

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

III.2.2- La fonction d'ordonnancement

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

III.2.3- La fonction de la préparation

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

III.2.4- La fonction de lancement

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

III.2.5- La fonction d'exécution

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

III.2.6- La fonction de la gestion des stocks

La première tâche est de prévoir à chaque moment les besoins de l'usine en articles courants du magasin de maintenance, pièces de rechanges spécifiques aux installations de production. Elle détermine les quantités à réapprovisionner en fonction du niveau des stocks, des consommations et des délais de livraison.

III.2.7- La fonction de la gestion des coûts

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

III.3- La maintenance appliquée sur le turbocompresseur GHH

Les installations techniques représentent un important capital investi. Ce capital doit être préservé et géré avec efficacité. La division de maintenance nécessite de réunir un vaste éventail de compétences dans des domaines variés, ce qui conduit à l'organisation de

la maintenance autour de 4 services: services turbomachines, électricité, instrumentation et mécanique industrielle.

Un programme de maintenance préventive est une nécessité primaire afin d'assurer la gestion correcte des installations des turbocompresseurs où les arrêts forcés de l'installation doivent être réduits au minimum. Et pour cela nous pouvons classer les inspections de turbocompresseur en deux types:

III.3.1- La maintenance conditionnelle (inspection en fonctionnement)

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

Les plus importants sont :

- ❖ Les vibrations des rotors des turbines.
- ❖ La température à l'échappement.
- ❖ La température à la sortie du compresseur.
- ❖ La température de l'huile de graissage.
- ❖ La vitesse des roues
- ❖ La pression de refoulement du compresseur.

Le tableau suivant montre les paramètres importants à contrôler ainsi que leurs modes de contrôle.

Les paramètres	Mode de contrôle			
	I	E	S	P
-Vitesse de rotation des turbines	+			
- Température à l'échappement.	+		+	+
-Température à l'entrée de la turbine	+	+	+	+
- Vibration au niveau des paliers	+	+	+	+
- Risque de pompage	+		+	+
- ΔP filtre à air			+	
- Température sortie du compresseur	+		+	
- Contrôle présence de la flamme			+	+
- Haute température des paliers	+		+	+
- Température d'huile de graissage	+		+	+

I: indication E: enregistrement S: signal d'alarme P: protection

Tableau III.1 : modes de contrôle des paramètres importants

III.3.2-La maintenance systématique (les inspections à l'arrêt)

Elle nécessite le démontage du turbocompresseur à différents degrés:

- ❖ Inspection chaque 8000 h de fonctionnement;
- ❖ Inspection chaque 16000 h de fonctionnement;
- ❖ Inspection majeur : c'est une révision générale qui est faite chaque 32000 h de fonctionnement.

III.3.3- Inspection majeur (major inspection MI) ou révision générale

Elle consiste en une inspection de parcours des gaz et vapeur avec en plus un démontage et une inspection détaillée et vérification des jeux, pièces de rotor et de stator, des paliers principaux, des accouplements et des pièces associées.

Avant et après chaque révision générale, il faudra contrôler l'alignement et le comparer avec les données de base afin de s'assurer s'il y a eu des changements.

III.4- Procédure d'une révision générale

III.4.1- Préparation

- a) Préparation du kit des pièces de rechange:
 - joints d'étanchéités;
 - boulons, clavettes, tubes d'interconnexions...etc.
- b) Préparation de l'outillage;
- c) Préparation du dossier de la machine (documentation);
- d) Isolement de la machine:
 - Isoler électriquement la machine;
 - Fermer les conduites de gaz;
 - Isoler la machine réceptrice

III.4.2-Travaux à effectuer lors d'une révision générale

- * Avant le démontage, contrôler l'alignement.
 - * Ouvrir les turbines et compresseur, démonter les rotors et les éléments internes.
- Contrôler la propreté, l'usure ou autres en dommages de ces pièces.
- * Si nécessaire, nettoyer par brossage, lavage ou par sablage /grenailage.
 - * Contrôler la marge ronde et rééquilibrer éventuellement les rotors. Sur les compresseurs axiaux,

- *contrôler l'absence de fissures sur les aubes mobiles et les aubes directrices.
- * Si besoin est, renouveler la couche d'enduit dans l'enveloppe et sur les éléments internes.
- * Contrôler les chevalets de paliers et les guidages des enveloppes.
- * Vérifier l'absence de corrosion et d'encrassement dans les tuyauteries.
- * Contrôler également les ancrages et les compensateurs.
- * Contrôler les étanchéités d'arrêt et les étanchéités a bague de glissement
- * Contrôler les paliers
- * Contrôler tous les équipements de réglage et de sécurité.
- * Contrôler l'exactitude des points de commutation.
- * Nettoyer tout le système d'huile, y compris le réfrigérant, le filtre et le réservoir.
- * Démontez, nettoyez et contrôlez les réfrigérants intermédiaires et finals des compresseurs.
- * Vérifier les engrenages.
- * Assembler le groupe.
- * Contrôler l'alignement définitif, le cas échéant de concert avec le fournisseur des machines accouplées.
- * Contrôler le fonctionnement de tous les équipements de réglage et de sécurité, tout particulièrement le système de fermeture rapide des turbines.
- * Dresser un procès-verbal.

III.4.3- Inspection des systèmes de commande et de protection

Avant de démarrer le turbocompresseur les instrumentistes font un contrôle de tous les systèmes de commande et de protection comme par exemple [5].

- La chaîne de vibrations;
- L'état des thermocouples;
- Fonctionnement des servo-vannes;
- Des manomètres;
- Les moteurs électriques des auxiliaires;
- Les systèmes de survitesse et de déclenchement;
- Ainsi que toutes les boucles des systèmes de régulation (capteurs, transmetteurs, régulateurs, amplificateurs, organes d'exécution... etc.).

III.4.4- Test de démarrage et essai

On contrôlera toutes les étapes de démarrage et on décèlera tous les bruits anormaux pendant la phase de ventilation, avant l'allumage, relever tous les paramètres à 80% et à 100% de la vitesse nominale. Le turbocompresseur est réceptionné après 72 h de marche.

IV.1- Introduction à la fiabilité

La fiabilité est née avec les câbles sous-marins dont les réparations même élémentaires étaient fort coûteuses à cause du déplacement d'un navire, mais souvent impossible selon les saisons. Des composants pouvant fonctionner très longtemps sans tomber en panne ont donc été mis au point.

La fiabilité a ensuite subi un deuxième essor avec l'activité aéronautique et spatiale, les interventions étant impossibles en vol.

Enfin, elle a subi un troisième essor avec l'électronique mais dans un but de maintenance, donc différent. Dans ce cas, le matériel reste accessible mais muet, et la fiabilité permet de supprimer une partie des pannes, préventivement, ce que la maintenance ne pourrait faire.

IV.2- Objectifs de la fiabilité

La fiabilité a pour objectif de [7] :

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

IV.3- Définitions et notations

▪ **Fiabilité :**

Probabilité qu'une entité puisse accomplir une fonction requise, dans des conditions données, pendant un intervalle de temps donné $[t_1, t_2]$; que l'on écrit $R(t_1, t_2)$.

▪ **Disponibilité :**

Probabilité pour qu'une entité soit en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données à un instant donné t ; on la note $D(t)$.

▪ **Maintenabilité :**

Probabilité pour qu'une opération donnée de maintenance puisse être effectuée pendant un intervalle de temps donné $[t_1, t_2]$.

▪ **MTA:**

Temps moyen pendant lequel le système est indisponible. Il comprend le temps de détection de la panne, le temps de déplacement du service maintenance, le temps d'approvisionnement du matériel en panne, le temps de réparation.

▪ **MTBF:**

Temps moyen entre deux défaillances d'un système réparable.

▪ **MTTF:**

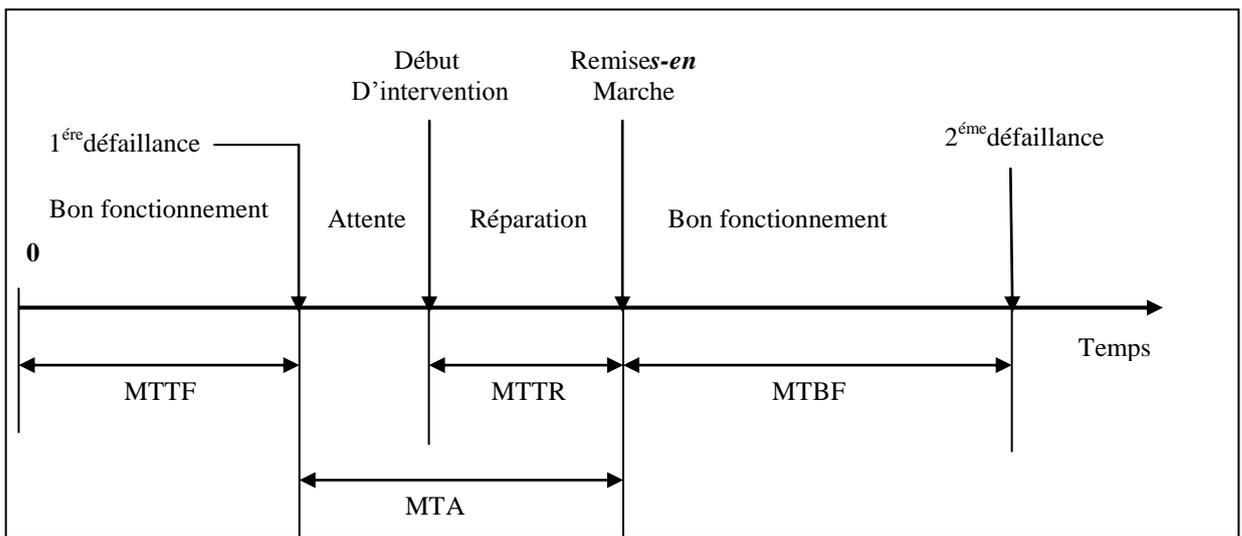
Temps moyen de bon fonctionnement avant la première défaillance.

▪ **MTTR :**

Moyenne des temps techniques de réparation.

▪ **Retour d'expérience :**

Données de fiabilité opérationnelle recueillies lors des défaillances du matériel en exploitation.



❖ **Fig. IV.1 :** Relation entre les différentes grandeurs caractérisant la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité d'un équipement [7].

IV.4- Rappels de statistiques

IV.4.1- Variable aléatoire, lois de probabilité

1/ Notion de Variable aléatoire :

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

Exemple :

V.A continue: les TBF d'un équipement.

V.A discrète : nombre de défaillance de roulements pour 500 000 kms parcourus.

2/Fiabilité :

C'est la probabilité de bon fonctionnement à l'instant t_i [8]

$$R(t_i) = \Pr(T > t_i)$$

3/ Fonction de répartition :

C'est la probabilité pour que le dispositif soit en panne à l'instant t_i [8]

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

Notons que ces deux fonctions sont complémentaires :

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

4/ Densité de probabilité :

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

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

5/ Taux de défaillance :

Probabilité pour qu'une entité perde sa capacité à accomplir une fonction pendant l'intervalle [t, t+dt], sachant qu'elle n'a pas été défaillante entre [0, t] ; on le note

Relation entre F (t), R (t), f (t) et λ(t)				
Fonction	F (t)	R (t)	f (t)	λ (t)
F (t)		1-R (t)	$\int_0^t f(u)du$	$1 - e^{-\int_0^t \lambda(u)du}$
R (t)	1-F (t)		$\int_t^\infty f(u)du$	$e^{-\int_0^t \lambda(u)du}$
f (t)	$\frac{df(t)}{dt}$	$-\frac{dR(t)}{d(t)}$		$\lambda(t)e^{-\int_0^t \lambda(u)du}$
λ (t)	$\frac{\frac{df(t)}{dt}}{1-F(t)}$	$-\frac{R'(t)}{R(t)}$	$\frac{f(t)}{\int_t^{+\infty} f(u)du}$	

Tableau IV.1 : La relation entre F(t), R(t), f(t), λ(t).

IV.5- Principales lois utilisées

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

II.5.1- La loi exponentielle

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

IV.5.2- La loi de WEIBULL

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

II.5.3- La loi normale

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

IV.5.4- La loi log-normale (ou loi de GALTON)

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

Le tableau ci-après représente les fonctions représentatives de ces quatre lois.

Principales lois de survie				
	Loi exponentielle	Loi de weibull	Loi normale	Loi-long-normale
Fiabilité (loi de survie): R (t)...	$e^{(-\lambda_0 t)}$	$e^{\left[-\left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^\beta\right]}$	$\int_t^0 \frac{1}{\sigma_0 \sqrt{2\pi}} e^{-\left[\frac{1(t-\mu)}{2 \sigma_0^2}\right]}$	$\int_0^t \frac{1}{\sigma_0 \sqrt{2\pi}} e^{-\left[\frac{1(\ln t-\mu)}{2 \sigma_0^2}\right]}$
Densité des défaillances:f (t)	$\lambda_0 e^{(-\lambda_0 t)}$	$\frac{\beta}{\eta} \left(\frac{(t-t_0)}{\eta}\right)^{\beta-1}$	$\frac{1}{\sigma_0 \sqrt{2\pi}} e^{-\left[\frac{1(t-\mu)^2}{2 \sigma_0^2}\right]}$	$\frac{1}{t \sigma_0 \sqrt{2\pi}} e^{-\left[\frac{1(\ln t-\mu)^2}{2 \sigma_0^2}\right]}$
Taux instantané de défaillances (t)...	λ_0	$\frac{\beta}{\eta} \left(\frac{(t-t_0)}{\eta}\right)^{\beta-1}$	$\frac{f(t)}{R(t)}$	$\left(\frac{f(t)}{R(t)}\right)$

Tableau IV.2 : Principales lois de suivre

IV.5.5-La loi binomiale

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

-Sa variance :
$$V = nP(1 - P)$$

-Son écart type :
$$\sigma = \sqrt{nP(1 - P)}$$

IV.5.6-La loi de POISSON ou loi de faibles probabilités

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

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

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

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

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

IV.6-Etude de la fiabilité de turbocompresseur

IV.6.1-Situation du problème et objectif de l'étude

L'exploitation normale d'un turbocompresseur nécessite une étude et un diagnostic rigoureux afin d'assurer un bon fonctionnement de l'unité. Dans cette étude, on s'est intéressé à des données techniques de terrain, recueillis de l'historique d'une installation de turbocompresseur afin d'évaluer au mieux sa fiabilité et sa sûreté de fonctionnement ainsi que de proposer un planning scientifique des actions de maintenance préventive.

A fin de bien pouvoir mieux estimer la fiabilité d'un turbocompresseur, on prise comme modèle le turbocompresseur **GHH** de l'unité d'acide nitrique de l'entreprise **FERTIAL**.

IV.6.2- Analyse du système de renouvellements

1/- Historique de turbocompresseur

N	TBF (h)	TBF _i (h)	N _i	$\sum N_i$
1	05592	2393	1	1
2	11488	5096	1	2
3	13347	5592	1	3
4	5096	6677	1	4
5	8372	6919	1	5
6	13545	7331	1	6
7	7331	8372	1	7
8	6677	9476	1	8
9	2393	11488	1	9
10	9476	13347	1	10
11	6919	13545	1	11

Tableau IV.3 : temps du bon fonctionnement de GHH

2/Regroupement en classe :

Dans le cas où $N > 50$, plusieurs règles empiriques proposent le nombre de classes **K** à créer :

Gnedenko : $K \leq \frac{N}{10}$ et $K \geq 5$

Chapouille et De Pazzis : $K \approx \sqrt{N}$

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

$$K = 1 + 3.3 \log \sum_1^{11} n_i$$

$$K = 1 + 3.3 \log 11 = 4.44 \quad \text{On prend } \mathbf{K=5}$$

3/- L'intervalle de temps entre deux classes :

$$\Delta T = \frac{TBF \max}{K} = 2709h$$

4/L'intervalle de temps entre deux classes ΔT :

***Les défaillances par classe:**

Classe	ΔT (h)	Nombre de pannes
1	0- 2709	1
2	2709 - 5418	1
3	5418 - 8127	4
4	8127 - 10836	2
5	10836 - 13545	3

Tableau IV.4 : Nombre des pannes par classe

5/- Histogramme des pannes:

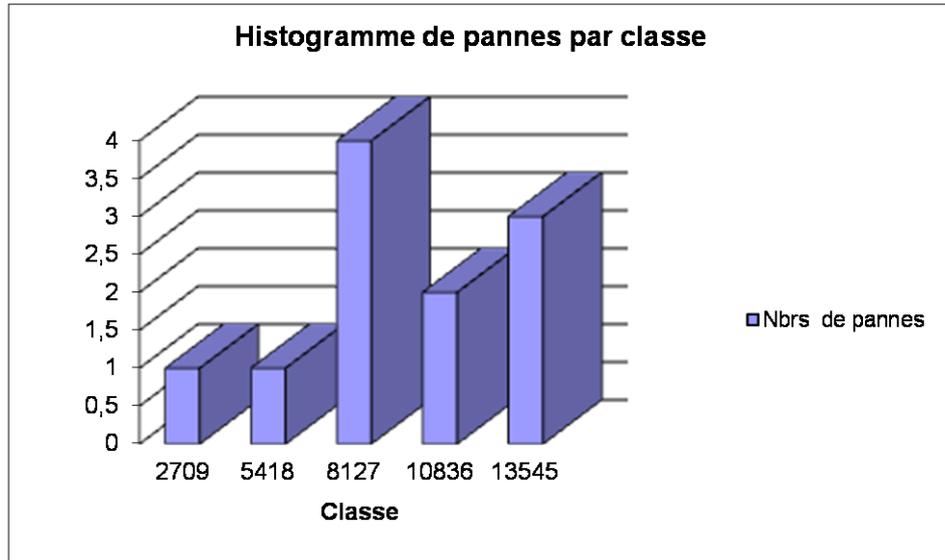


Fig. IV.2 : Histogramme de pannes par classe

Commentaire

Nous avons synthétisé notre historique selon des classes d'heures de fonctionnement. Cette représentation est utile pour nous donner une idée sur la plage des heures où le nombre de pannes devient important.

6/Détermination des paramètres de Weibull

Il est possible de déterminer les valeurs de : β , η et γ graphiquement sur un papier gradué spécial dit papiers d'Allan Palit.

Pour ce la il faut:

1. classer les TBF_i par ordre croissant.
2. Calculer la fréquence relative pour chaque TBF_i par la méthode des rangs médians:

$$\text{- Si } N > 50 ; F(i) = \frac{i}{N}$$

$$\text{- Si } 20 < N < 50 ; F(i) = \frac{i}{N + 1}$$

$$\text{- Si } N < 20, F(i) = \frac{i - 0.3}{N + 0.4} \text{ (notre cas)}$$

Tableau des données préparées:

Order i	TBF _i (h)	F (i) (%)
1	2393	6
2	5096	15
3	5592	24
4	6677	32
5	6919	41
6	7331	50
7	8372	59
8	9476	67
9	11488	76
10	13347	85
11	13545	94

Tableau IV.5 : Données préparées

On porte sur le papier d'Allan pâlit:(voire annexe)

- Sur l'axe **A** les valeurs **TBF_i**.
- Sur l'axe **B** la valeur de **F (i)** associées.

On obtient un nuage de point, si ce dernier peut être représenté approximativement par une droite D_1 .

Donc: $\gamma = 0$

- La droite D_1 coupe l'axe $(t; \eta)$ en η

$$\eta = 9000$$

- Nous traçons la droite $D_2 // D_1$, passant par le point 1(X, Y).

Cette droite D_2 coupe l'axe (β, b) en β

$$\beta = 2,3$$

7/- Recherche de la MTBF :

On utilise les tables donnant A et B (voir Annexe) telles que :

- $MTBF = A\eta + \gamma$

- L'écart type des temps de fonctionnement : $\sigma = B\eta$

Nous pouvons connaître la variance, $V = \sigma^2$

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

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

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

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

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

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

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

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

Tableau des résultats :

γ	0
η	9000
β	2,3
La fiabilité	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{9000}\right)^{2.3}}$
La fonction de répartition	$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{9000}\right)^{2.3}}$
La densité de défaillance	$f(t) = \frac{2.3}{9000} \left(\frac{t}{9000}\right)^{1.3} \cdot e^{-\left(\frac{t}{9000}\right)^{2.3}}$

Le taux de défaillance instantané	$\lambda(t) = \frac{1.3}{9000} \left(\frac{t}{9000} \right)^{1.3}$
A	0.8859
B	0.409
σ	3825h
MTBF	7973.10h

Tableau IV.6 : Résultats des calculs

6/ La représentation graphique des fonctions obtenues :

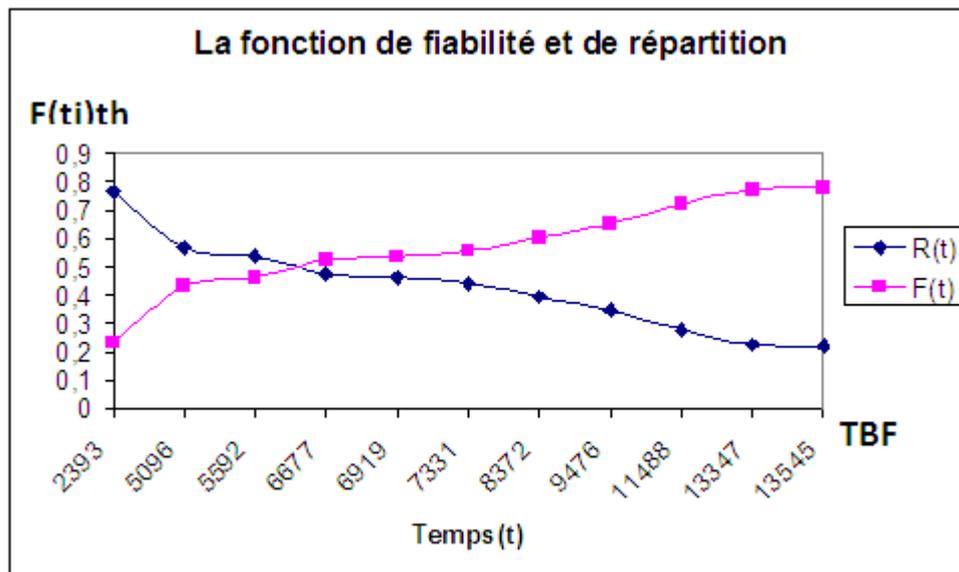


Fig. IV.3 : Courbes de la fonction de la fiabilité et de répartition

Commentaire

Courbe R(t) : d’après l’allure de la courbe. On remarque la dégradation de la fiabilité au cours du cumule de temps de bon fonctionnement, signifie que le turbocompresseur GHH subit plusieurs arrêt qui provoquent la rupture de production.

Courbe F(t) : On remarque clairement que la courbe de la fonction de répartition augmente avec le cumule de temps de bon fonctionnement, qui signifie que la probabilité

de la machine tombe en panne, la panne va augmenter au cours du temps parce-que la fiabilité diminue

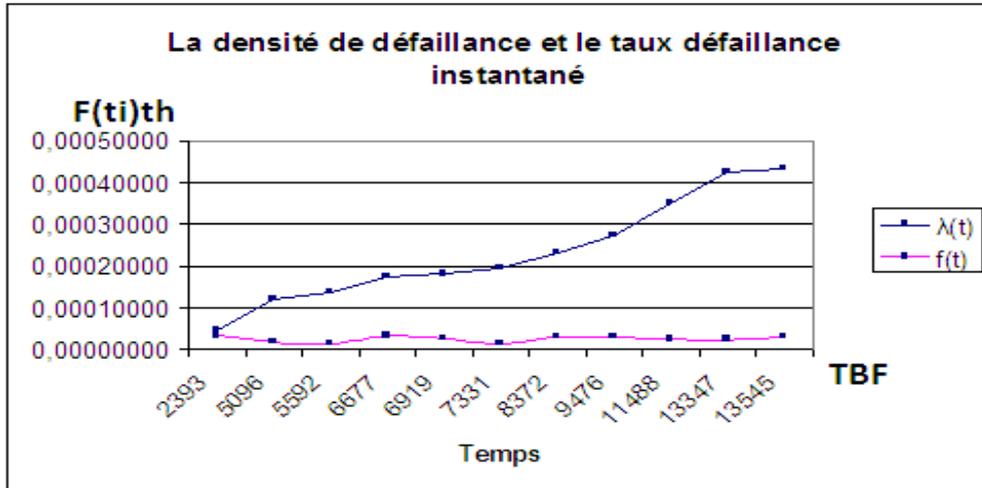


Fig. IV.4 : Courbes de la densité de défaillance et le taux de défaillance instantané

Commentaire

Courbe $\lambda(t)$: D'après la courbe nous avons un taux de défaillance qui croît en fonction du temps, ce qui signifie que le turbocompresseur est en période de vieillesse, usure d'où la confirmation du paramètre de forme $\beta = 2.3 > 1$, dans cette période il est difficile de citer les causes de défaillance

Courbe $f(t)$: On remarque que la courbe de densité de probabilité des défaillances de turbocompresseur GHH reste presque stable. La courbe suit la loi de weibull et montre la distribution des défaillances qui est autour de la moyenne de la tenue du matériel.

IV.7- Le test de Kolmogorov Smirnov

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

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

IV.7.1-Procédure du test

H : le modèle théorique ajuste le modèle expérimental.

n : la taille de l'échantillon.

α : le seuil choisi par le test.

Δ_n, α : déterminé à partir de la taille.

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

S'il existe i_0 tel que $|F_{i_0} - F_{thi_0}| \geq 0 \Rightarrow H$ est rejeté au seuil de α .

N ⁰	F(t _i)	F _{th} (t _i)	$ F - F_{th}(t_i) $
1	0,061403509	0,23347571	0,1720722
2	0,149122807	0,43233409	0,28321128
3	0,236842105	0,46277234	0,22593024
4	0,324561404	0,52378645	0,19922505
5	0,412280702	0,53642068	0,12413998
6	0,5	0,5571639	0,0571639
7	0,587719298	0,60553396	0,01781466
8	0,675438596	0,65107172	0,02436687
9	0,763157895	0,72097236	0,04218553
10	0,850877193	0,7730442	0,07783299
11	0,938596491	0,77798271	0,16061379

Tableau IV.7 : Calcul Test de Kolmogorov Smirnov

IV.7.2-Le test de Kolmogorov Smirnov

$$n = 11 \text{ et } \alpha = 5\% \Rightarrow \Delta = 0.391$$

$$\text{Max } |F - F_{th}| = 0.283 < \Delta = 0.391$$

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

IV.8-CONCLUSION

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

Pour rendre notre équipement plus performant, nous envisagerons les actions qui sont suit pour augmenter la disponibilité à partir d'améliorer la fiabilité :

- ◆ Réduire la fréquence des pannes répétitives
- ◆ Fiabilisé le matériel
- ◆ Développer le plan préventif
- ◆ Augmenter l'efficacité des interventions ; minimiser les TTA à leur minimum.

Alors pour détecter tout les points faibles du système et leur associer le meilleur remède on passe à l'analyse des modes de défaillance leurs effets et leur criticité.

V.1- L'analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leurs criticités

V.1.1- Définition et objectif

« L'AMDEC est l'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité. C'est une méthode qui passe au crible tous les aspects d'un problème sans en privilégier, ni en négliger, aucun. Les mailles du crible sont ajustables à la finesse des solutions recherchées. C'est une méthode d'analyse qualitative faisant appel aux compétences d'un groupe de travail dans lesquels chacun maîtrise une des disciplines concernées par l'analyse. Il s'agit, pour le groupe, d'identifier les risques de défaillance, avec leurs causes et leurs conséquences, puis de définir, par un indice de criticité, les actions à entreprendre, dans l'ordre d'urgence et d'importance. L'analyse se concrétise sous la forme d'un tableau faisant apparaître, pour chaque élément traité, ses modes de défaillance, les causes et les effets de ces défaillances, les moyens de les détecter et de les prévenir, pour aboutir aux solutions possibles ».

L'AMDEC pour but d'évaluer et de garantir la fiabilité, la maintenabilité, la disponibilité et la sécurité des machines par la maîtrise des défaillances, elle a pour objectif final l'obtention, au meilleur coût, du rendement global maximum des machines de production et équipements industriels.

Son rôle n'est pas de remettre en cause les fonctions de la machine mais plutôt d'analyser dans quelle mesure ces fonctions peuvent ne plus être assurées correctement.

V.1.2-L'étude AMDEC machine vis à

- Réduire le nombre des défaillances

- ☞ Prévention des pannes.
- ☞ Fiabilisation de la conception.
- ☞ Amélioration de la fabrication, du montage, de l'installation.
- ☞ Optimisation de l'utilisation et de la conduite.
- ☞ Amélioration de la surveillance et des tests.
- ☞ Amélioration de la maintenance préventive.
- ☞ Détection précoce des dégradations.

- Réduire les temps d'indisponibilité après défaillance

- ☞ Prise en compte de la maintenabilité dès la conception.
- ☞ Amélioration de la testabilité.
- ☞ Aide au diagnostic.
- ☞ Amélioration de la maintenance corrective et amélioré de la sécurité.
- ☞

V.1.3- Cas d'application

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

Les d'application sont généralement les suivants :

- **AMDEC prévisionnelle** : en phase de conception, pour vérifier certains points particuliers (éléments nouveaux, spécifiques ou complexes) dont on connaît mal le comportement. Elle permet l'amélioration de la conception, la validation d'une solution technique par rapport à un cahier des charges ou une exigence spécifique, la mise en phase des dispositions d'assurance qualité, la préparation d'un plan de maintenance. On la met en pratique quand les composants sont définis, avant que les plans de détail ne soient figés.

- **AMDEC opérationnelle** : en période d'exploitation, pour améliorer le comportement d'un matériel critique, pour mettre au point le plan de maintenance d'une nouvelle installation ou pour optimiser des actions de maintenance (choix, procédure, stocks).

Dans tous les cas, il n'est pas souhaitable de systématiser la mise en œuvre de la méthode, ce qui engendrerait des coûts prohibitifs, voire inutiles. Par contre son usage est recommandé partout où des risques sont à craindre ou bien lorsque les enjeux sont importants pour l'entreprise ou la sécurité.

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 conséquence

Une étude AMDEC machine comporte quatre étapes successives voire le schéma suivant :

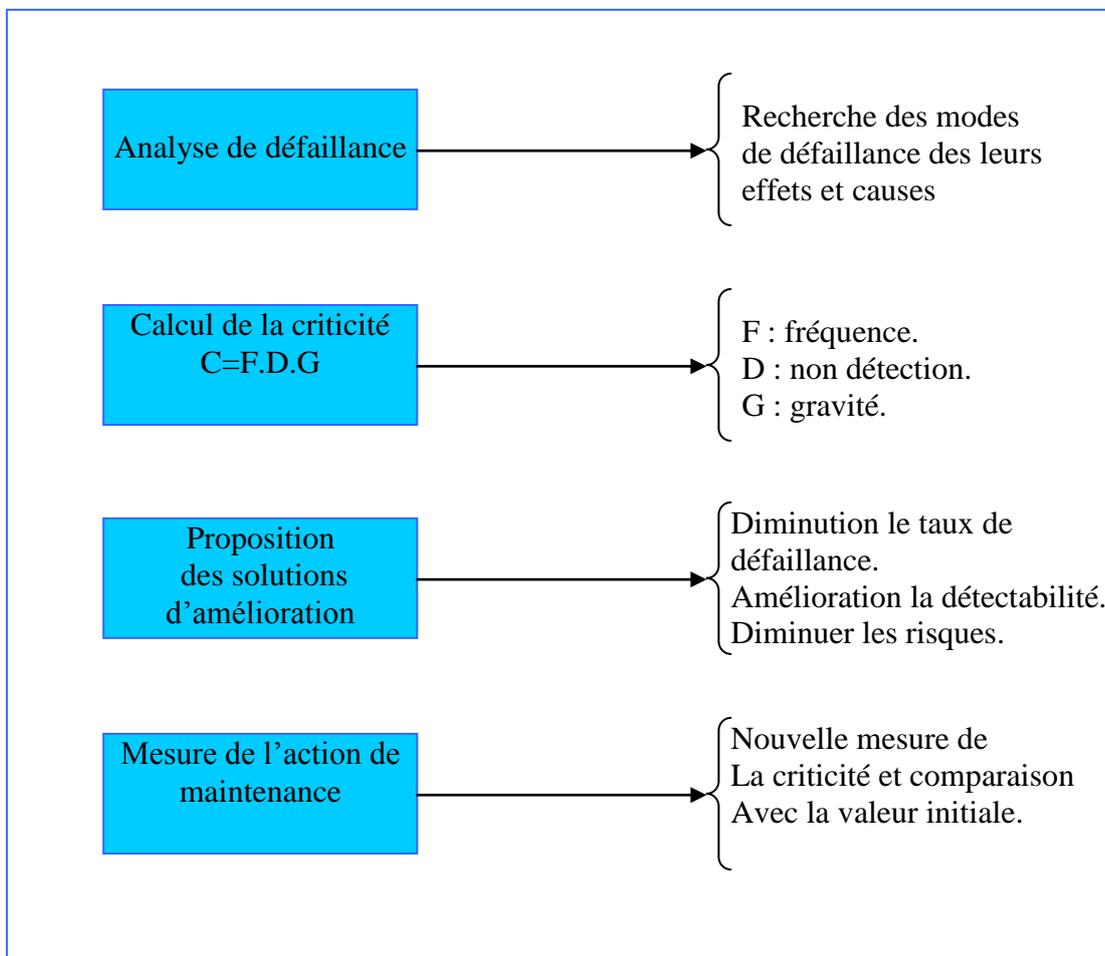


Fig. V.1 : Déroulement d'une analyse AMDEC [7]

V.2- Analyse Des Mécanismes De Défaillance

L'analyse des mécanismes de défaillance se base sur l'état actuel ou prévu de la machine au moment de l'étude.

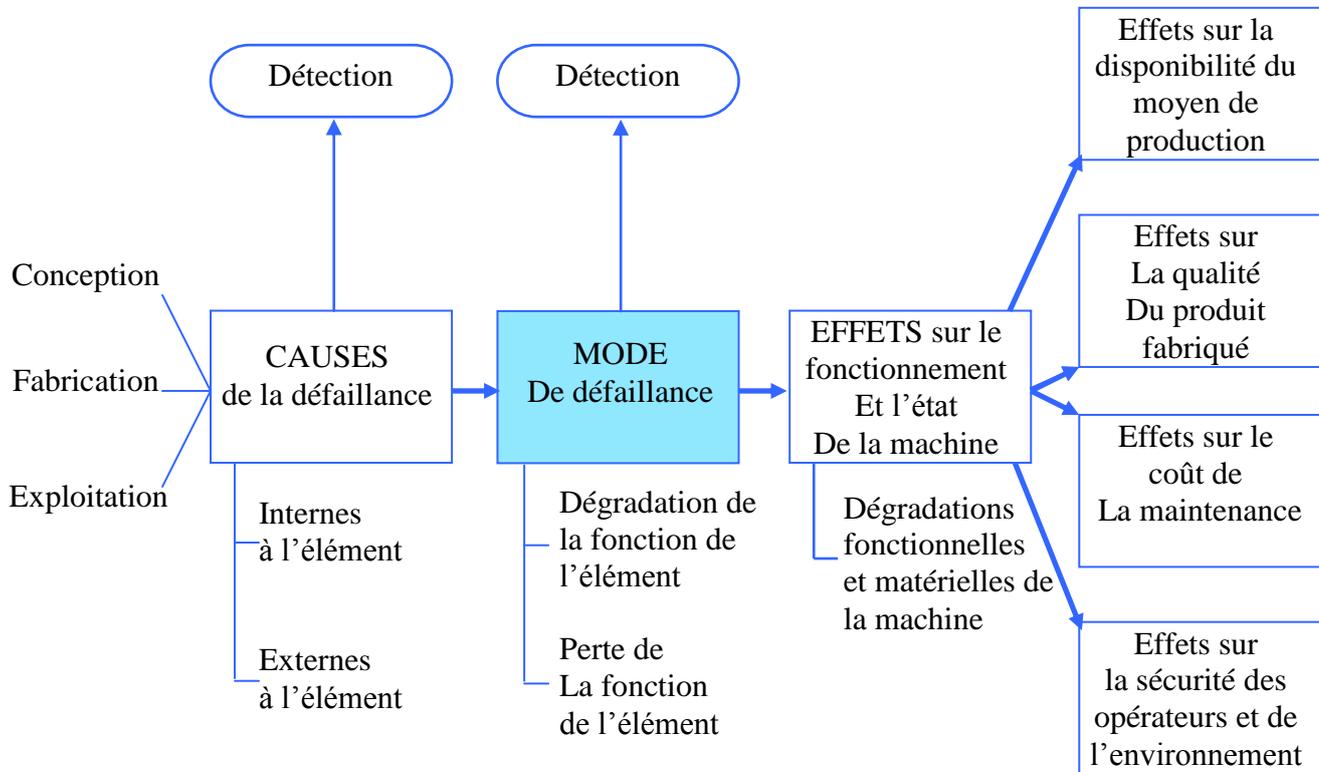


Fig. V.2 : Mécanisme de défaillance [7]

a. Identification des modes de défaillance

Identifier les modes de défaillance de l'élément en relation avec les fonctions à assurer, dans la phase de fonctionnement retenue.

Les différents modes des défaillances sont indiqués dans les deux tableaux suivants :

a.1. défaillance générale

1	Fonctionnement prématuré
2	Ne fonctionne pas au moment prévu
3	Ne s'arrête pas au moment prévu
4	Défaillance en fonctionnement

Tableau V.1 : Modes de défaillances générales [7]

a.2. défaillance générique

1	Défaillance structurelle (rupture)	17	Mise en marche erronée
2	Blocage physique ou coincement	18	Ne s'arrête pas
3	vibrations	19	Ne démarre pas

4	Ne reste pas en position	20	Ne commute pas
5	Ne s'ouvre pas	21	Fonctionnement prématuré
6	Ne se ferme pas	22	Fonctionnement après délai prévu (retard)
7	Défaillance en position fermée	23	Entrée erronée (augmentation)
8	Fuite interne	24	Entrée erronée (diminution)
9	Fuite externe	25	Sortie erronée (augmentation)
10	Dépasse la limite supérieure tolérée	26	Sortie erronée (diminution)
11	Dépasse la limite inférieure tolérée	27	Perte d'entrée
12	Fonctionnement irrégulier	28	Perte de sortie
13	Fonctionnement intermittent	29	Court-circuit (électrique)
14	Fonctionnement intempestif	30	Circuit ouvert (électrique)
15	Indication erronée	31	Fuite
16	Ecoulement réduit	32	Autre conditions de défaillances exceptionnelles

Tableau V.2 : Modes de défaillances Génériques [7]

Les modes de défaillances du 2e tableau sont des multiplications de ceux de la première Et permettent de façon suffisamment précise les défaillances de tout élément, quel qu'il soit.

b. Recherche des causes

Recherche les causes possibles de défaillance, pour chaque mode de défaillance Identifié.

c. Recherche des effets

Rechercher les effets sur le système et sur l'utilisateur, pour chaque combinaison cause mode de défaillance.

d. Recensement des détections

Recherche les détections possibles, pour chaque combinaison cause mode de défaillance.

V.3-Evaluation de la criticité

L'évaluation de la criticité se fonde sur l'état actuel ou prévu de la machine au moment de l'étude.

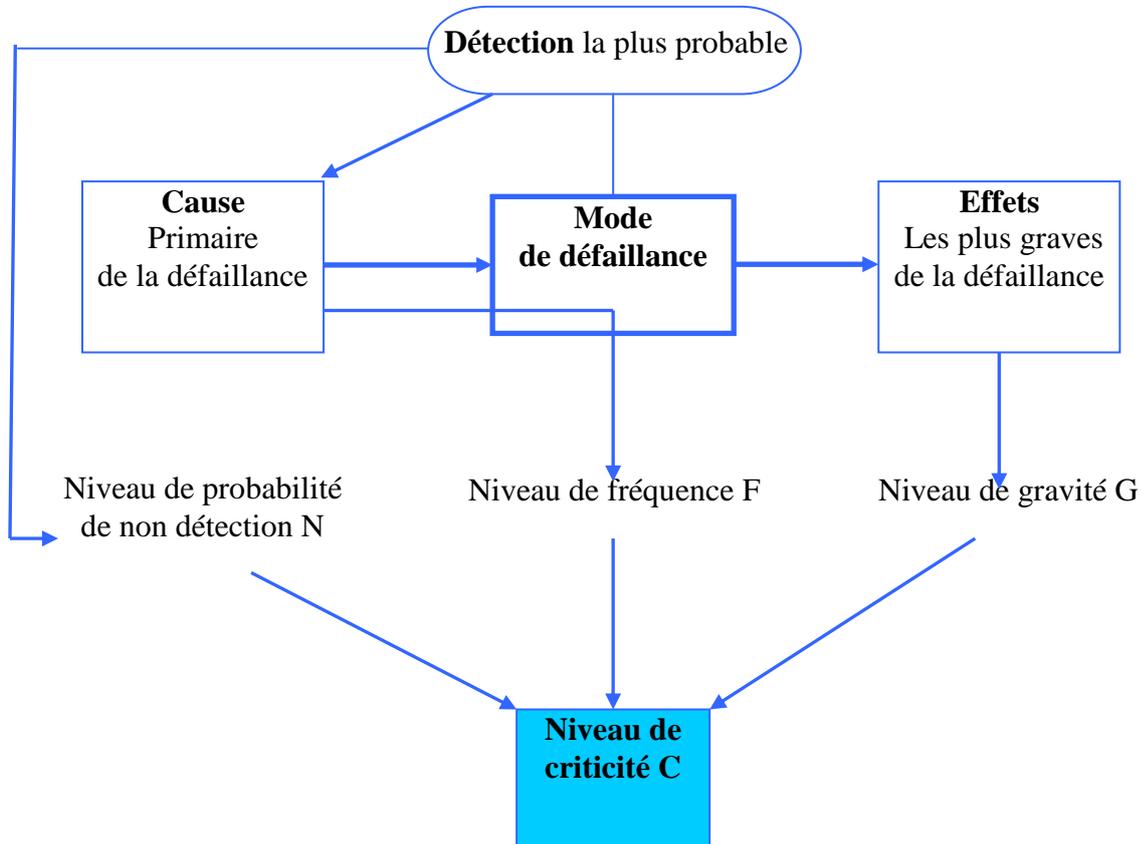


Fig. V. 3 : Principes d'évaluation de la criticité [7]

1. La criticité : «C»

- Est évaluée à partir de la fréquence de la défaillance et de sa gravité.
- Choix des actions correctives.
- Priorité entre les actions à entreprendre.
- Critère pour le suivi de la fiabilité prévisionnelle de l'équipement.

Cotation de la criticité : la valeur de la criticité est calculée par le produit des niveaux atteints par les critères de cotation :

$$C = F \cdot G \cdot D$$

2. Fréquence : «F» λ d'apparition des défaillances caractérisée par un taux de défaillance

Cotation	Désignation
1- Fréquence Très faible	Défaillance rare: moins de une fois par an.
2- Fréquence Faible	Défaillance possible: moins de une fois par trimestre.
3- Fréquence moyenne	Défaillance fréquente : moins de une fois par semaine.
4- Fréquence Forte	Défaillance très fréquente : plusieurs défaillances par semaine.

3. Gravité : «G» des effets de la défaillance par rapport à l'importance des coût des défaillances.

Cotation	Définition
1- Gravité Mineure	Arrêt moins de heures.
2 – Moyenne	Arrêt moins de 2h → 6h.
3 – Majeure	Arrêt moins de 6h → 24 h.
4 – Catastrophique	Arrêt de plus d'un jour.

4. Non détection : « D » puis prévention des modes de défaillances.

Cotation	Définition
1- Evidente	Signe évidant de défaillance.
2 – Possible	Nécessite une action (visite, contrôle visuel...).
3 – Improbable	Défaillance difficile à détecter.
4 – Impossible	Défaillance impossible à détecter.

5. Sécurité : « S »

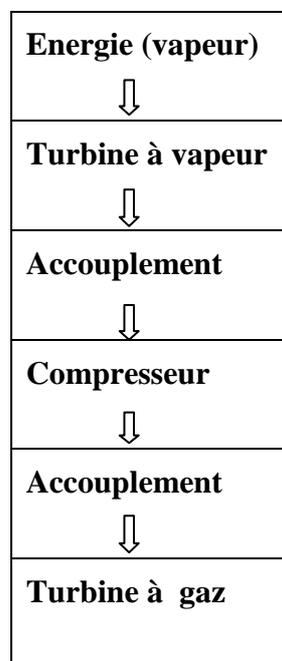
Cotation	Définition
1	Influence de la défaillance négligeable.
2	Influence de la défaillance sans blessure.
3	Influence de la défaillance avec blessure.
4	Influence de la défaillance grave.

V.4- Application de l'AMDEC sur le turbocompresseur GHH

Cette étude sur le turbocompresseur **GHH** a été réalisée pour optimiser sa Fiabilité, sa maintenabilité et sa disponibilité puisque aujourd'hui, l'intérêt Économique de la fonction maintenance réside dans l'anticipation des anomalies potentielles, plus que dans les actions correctives, c'est-à-dire dans la maîtrise de l'ensemble des éléments du processus de fabrication.

V.4.1- Analyse du système

Dans un premier lieu on a décomposé fonctionnellement le système



V.4.2-Tableaux AMDEC [9]

V.4.5-Tableau de classification des éléments par leur criticité

On a choisi la valeur 12 comme seuil de criticité.les éléments dont la criticité dépasse 12 sont regroupés par ordre décroissant dans le tableau. C'est sur ces éléments qu'il faut agir en priorité en engageant des actions correctives appropriées.

Elément	Criticité	Actions correctives à engager
<ul style="list-style-type: none"> • Sonde • Accouplement • Paliers • Calfat • Segments • Goujon • Joints d'étanchéité 	48 24 24 24 24 16 16	Remise en cause complète de la conception
<ul style="list-style-type: none"> • Tige de piston • Chemise • Clapets d'aspiration • Vanne • Tuyères 	12 12 12 12 12 12	Amélioration des performances des éléments. Maintenance préventive systématique.

Tableau V.3: Classification des éléments par leur criticité

V.4.6-Action correctives à engager

L'analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leur criticité (AMDEC), Montre que la sonde est l'élément la plus critique, mais ce dernier n'est pas un élément principal du turbocompresseur (capteur de surveillance et de détection des vibrations), Et malgré sa l'arrêt de cette élément causer l'arrêt de turbocompresseur.

Donc nous proposons d'améliorer se système de détection des vibrations, d'où on va le changer définitivement la position de la sonde pour que le turbocompresseur GHH fonctionne son arrêt lors de dysfonctionnement de la sonde

IV.5- Conclusion

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

- De définir les exigences de sureté de fonctionnement de manière précise
- D'identifier les fonctions critiques pour le système
- De définir la politique de maintenance pour le système et ces composants.

Introduction

Depuis l'apparition de l'industrie au monde, la sécurité du personnel exploitant ainsi que des équipements de production a été l'une des préoccupations majeures des responsables industriels.

L'application des mesures de sécurité surtout dans le domaine pétrolier, nécessite à ce que le personnel exploitant soit très conscient du bien résultant du respect des consignes de sécurité.

Pour mieux sensibiliser le personnel aux règles de sécurité des affiches et des panneaux doit être porté dans tous les coins sur le paramètre de l'unité de production.

VI.1 Définition de la sécurité

Elle est l'ensemble des mesures et des moyens techniques et d'hygiène dont la fiabilité est de créer des bonnes conditions de travail, en limitant l'influence des facteurs industriels dangereux provoquant les avaries.

Elle étudie des dangers industriels, les accidents et les maladies professionnelles et met en évidence les méthodes de réduction des accidents donc d'augmenter la production ou le rendement [10]

VI.2 Place de la sécurité dans l'entreprise

La sécurité est une fonction générale dans l'entreprise, elle est une des nombreuses préoccupations, la direction pour cela elle est rattachée directement à la direction et n'a de responsabilité qui vis de celle-ci c'est un des services d'état major de l'entreprise.

VI.3 Mission de la sécurité

Elle assure deux fonctions principales [11] :

1. **La prévention** : C'est l'ensemble des mesures qui ont pour but de réduire l'incidence d'un comportement ou d'un événement dangereux.

On distingue :

- La prévention passive.
- La prévention active.

2. **L'intervention** : Une fois l'accident ou l'incendie se produit, la sécurité doit posséder tous les moyens matériels et humains pour faire face à ce danger, l'efficacité de lutte contre l'incendie dépend de :

- La rapidité de l'intervention.
- La technique d'attaque.

VI.4 Les incendies

Les incendies peuvent être dus à une imprudence, à une négligence des ouvriers aux consignes de sécurité ou d'autres causes. Les produits et matériaux présentant des dangers d'inflammation doivent être conservés dans des endroits spécialement aménagés à cet effet.

VI.5 Les différents feux

Les feux sont évidemment divers que sont nombreux, les différents corps combustibles susceptibles d'alimenter un incendie, mais l'expérience a montré qu'on pouvait les chasser en un petit nombre de catégories.

Tous les feux d'une même catégorie étant justiciables d'un même agent extincteur [10].

a. Classe « A », feux dit secs : Bois, textile, papiers, etc... apparemment simple.

Les feux dits secs peuvent être difficile à combattre dans la mesure où il se forme une combustion lente avec braise.

b. Classe « B », feux dit gras : Matière grasse et hydrocarbure, huile, graisses, peintures, essences, etc... en général ces feux ne présentent pas de combustion lente, la disparition de flamme correspond à la fin de l'incendie.

c. Classe « C », feux dit électrique : Très dangereux, ils peuvent avoir des origines électriques soit survenir à proximité d'appareils électriques, sans aucune origine électrique.

d. Classe « D », feux dit spéciaux : Films cinématographiques, magnésium, etc..

Heureusement ces feux sont très peu répandus, car ils nécessitent pour leur extinction un matériel et des techniques particulières.

VI.6 La sécurité au niveau de l'unité d'acide nitrique

L'unité d'acide nitrique comporte plusieurs machines telle que les turbines à gaz, turbines à vapeur, compresseurs. Pour le bien de ces équipements plusieurs systèmes anti-incendie sont disposés.

Parmi ces systèmes, on applique le système anti-incendie à eau et d'autres systèmes, on applique le système extincteur au gaz carbonique (CO₂) [2]

a) Systèmes anti-incendie à eau

Ce système se compose d'un grand réservoir d'eau et d'un ensemble de pompes centrifuges pour l'alimentation du réseau d'eau anti-incendie, dont elles sont entraînées par des moteurs électriques et d'autres par des moteur Diesel en cas de rupture du réseau électrique.

b) Systèmes extincteurs à gaz carbonique

Ce système extincteur au CO₂ éteint le feu en réduisant la teneur en oxygène dans le compartiment de la proportion normale de 21 % à moins de 15 % une concentration insuffisante pour permettre la combustion.

Le gaz CO₂ est fourni par un groupe bouteilles à haute pression ou par un groupe cardox à basse pression à un système de distribution amenant le gaz CO₂ à des buses de décharge situées aux divers compartiments du groupe.

Le mécanisme de décharge ouvrent les bouteilles du gaz CO₂ est actionné automatiquement par un signal électrique provenant de détecteurs d'incendie sensible à la chaleur, installés à des emplacements judicieux dans les divers compartiments du groupe.

Le système peut être également actionné manuellement en cas de pannes l'électricité.

La mise en marche de ces deux systèmes provoque le déclenchement de la turbine.

Pour que le système de gaz carbonique soit efficace, les panneaux des compartiments doivent être en place et les portes doivent être fermées. Il y'a suffisamment de gaz CO₂ dans le système pour compenser les fuites par les ouvertures de ventilation inévitables dans le calorifugeage du groupe, mais il n'y a pas assez pour qu'on puisse tolérer la perte non contrôlée par les panneaux.

Avertissement

Le gaz CO₂ à une concentration suffisante pour produire l'extinction d'un incendie et établit une atmosphère. Il est extrêmement dangereux d'entrer dans un compartiment à la suite d'une décharge de gaz carbonique.

Toute personne ayant perdu connaissance par suite d'exposition au gaz CO₂, doit être secourue aussi rapidement que possible et faire l'objet d'une réanimation par respiration artificielle.

La nature et le type des précautions, ainsi que possible et faire l'objet d'une réanimation par respiration artificielle.

La nature et le type des précautions, ainsi que l'avertissement au personnel qui seront particulières à chaque installation.

Il est recommandé que le personnel ait reçu une formation appropriée sur la conduite à suivre dans tel cas d'urgence.

VI.7 Règle de sécurité à l'intérieur des installations

a. En général, il est interdit de :

- Fumer à l'intérieur des installations.
- D'exécuter des travaux sans autorisation.
- D'introduire des matériels ou des produits non autorisés.
- D'effectuer des réparations ou d'intervention pendant la marche des équipements.
- Démonter tout appareil, avant d'être assuré qu'il est isolé mis et maintenu à la pression atmosphérique.
- D'abandonner des outils ou des objets dont la chute peut provoquer des accidents, etc.

b. Il est obligatoire de :

- D'utiliser les équipements spéciaux de sécurité, le personnel effectuant la conduite des appareils de service doit notamment être muni de casque, de chaussures de sécurité et de gants.
- Munir le personnel de survêtements imperméables et de lunettes de protection dans tous les cas où des projections sont à craindre en particulier ; le port des lunettes à écrans de protection est obligatoire lors de la manutention des liquides chauds ou corrosifs. Si la présence d'atmosphère polluée est possible des détecteurs de gaz et des équipements respiratoires correctement adoptés sont mis à la disposition du personnel.
- Maintenir propres et dégagés de tout obstacle les passages personnel, échelles et escaliers.

- Munir d'un éclairage efficace les emplacements où les ouvriers sont appelés à travailler la nuit.

VI.8 La sécurité du turbocompresseur GHH

L'instrumentation installée sur le turbocompresseur fait l'objet de garder les machines en bon état de fonctionnement et ce là en les faisant surveiller de façon continue.

VI.9 Appareils de contrôle et de sécurité

1. Tous les contrôleurs, régulateur et vannes de contrôle doivent-être réglés exactement. Toutes les vannes à main doivent-être dans leur position normalement ouvertes NO, normalement fermées NF sauf indication contraire dans la section 3 fonctionnement de ce manuel. Nous conseillons d'attacher à chaque vanne une étiquette NO ou NF en accord avec sa fonction [5]
2. Tous les interrupteurs de sécurité doivent-être réglés et contrôlés précisément pour obtenir un fonctionnement sûr.

Quand les systèmes d'huile de graissage et d'étanchéité sont pressurisés, les réfrigérants d'huile, filtres, Mano tec... doivent être vidés de l'air venant des systèmes.

a. Les capteurs de déplacement axial

Les butée en caisse une certaine poussée axiale, cette dernière entraînera une assure du palier se traduisant par un déplacement axial.

Les capteurs sont placés sur le corps du compresseur et ils sont chargés de détecter un déplacement maximum du compresseur de façon à éviter des frottements entre les parties de contact.

b. Les capteurs de vibrations

Pour les vibrations des sondes sont placées au voisinage du palier, leur rôle est de détecter le balourd supplémentaire sur le rotor.

c. Les capteurs de températures

Ces capteurs sont placés au niveau des paliers porteurs et de palier de butée afin d'éviter le surchauffent des pièces ainsi que le déclenchement de l'unité (alarme et sécurité).

La température de l'huile à la sortie du dispositif d'étanchéité est mesurée à l'aide des thermomètres placés sur la conduite de drainage de celle-ci.

conclusion

Au cours de notre étude, on a pu prendre conscience de l'importance de turbocompresseur GHH dans la chaîne de production d'acide nitrique.

Un programme de maintenance préventive est une nécessité primaire afin d'assurer la gestion correcte des installations conduites par le turbocompresseur où les arrêts forcés de l'installation doivent être réduits au minimum.

Dans le but de contribuer à l'amélioration de l'efficacité de la maintenance et de faciliter la tâche des professionnels, il faut que le service maintenance doit comprendre les différentes fonctions citées dans le chapitre maintenance ainsi d'assurer une bonne relation inter-fonctions.

Pour mieux situer les causes des défaillances de l'équipement et de déterminer les remèdes nécessaires on a eu recours aux différents outils d'analyse pour atteindre l'objectif de notre étude ; à savoir :

En premier, on a calculé les indicateurs de maintenance (fiabilité, disponibilité) pour évaluer la situation de l'équipement.

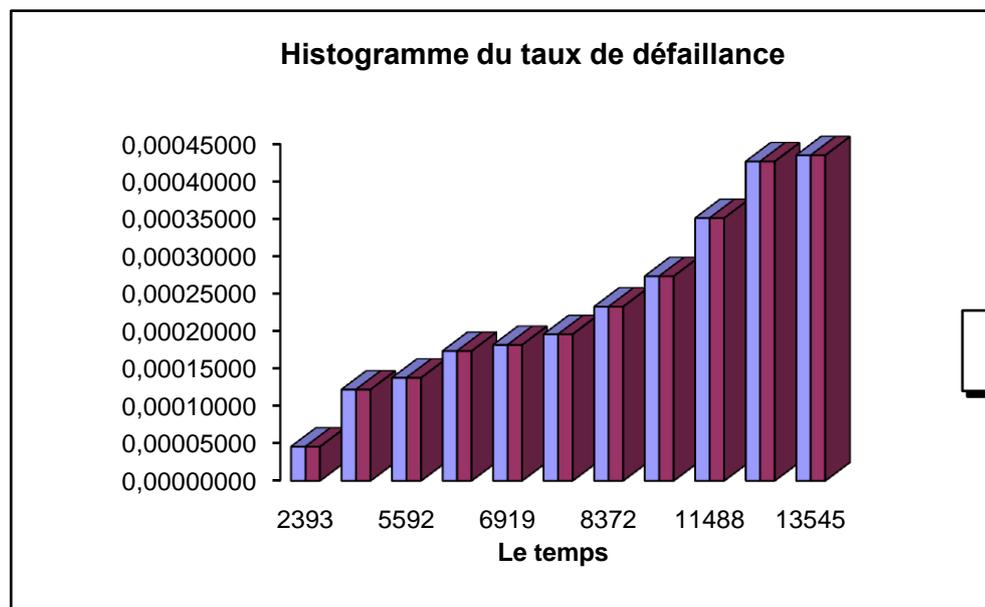
En seconde, dans le but d'améliorer ces paramètres et de détecter tous les points faibles on est passé à l'analyse des modes de défaillance du turbocompresseur GHH tout en se basant sur les éléments critiques par l'exploitation de la méthode AMDEC. Et ceci après avoir collecté toutes les informations relatives aux différentes défaillances enregistrées durant les cinq années précédentes.

On propose aux étudiants des promotions à venir de traiter les autres difficultés de l'installation de turbocompresseur **GHH** comme :

- ◆ Analyse des huiles de lubrifications.
- ◆ La qualité de la vapeur.
- ◆ L'installation de régulation de la pression.

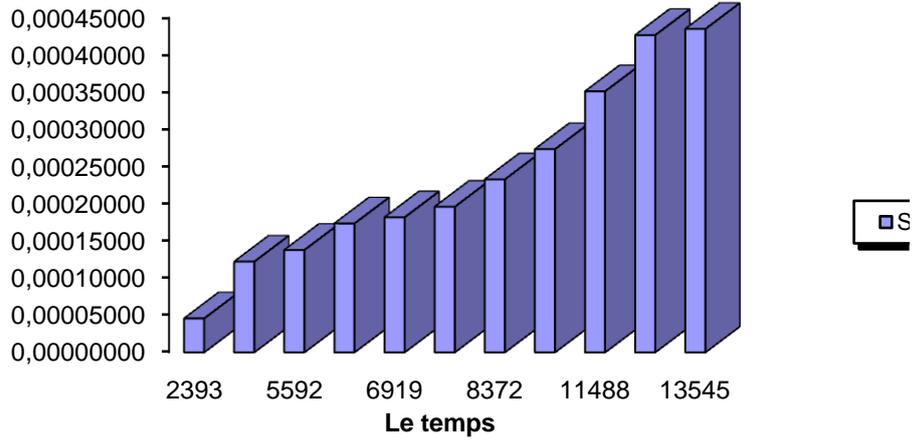
	Marche cumulé	TBF	$\lambda(t)$	f(t)
1	5592	5592	0,00013766	0,00003
2	15592	11488	0,000350984	0,00002
3	29139	13347	0,000426549	0,00001
4	34235	5096	0,000122002	0,00003
5	42607	8372	0,000232621	0,00003
6	56152	13545	0,000434793	0,00001
7	63483	7331	0,000195741	0,00003
8	70160	6677	0,000173351	0,00003
9	72553	2393	0,00004567	0,00002
10	82029	9476	0,000273264	0,00002
11	88948	6919	0,000181563	0,00003

	x		y
	TBF	F(ti)	R(ti)
1,3645E-05	2393	0,061403509	0,766524292
1,4081E-05	5096	0,149122807	0,567665909
1,8633E-05	5592	0,236842105	0,537227656
2,4259E-05	6677	0,324561404	0,476213551
2,4775E-05	6919	0,412280702	0,463579319
2,7382E-05	7331	0,5	0,4428361
3,0064E-05	8372	0,587719298	0,394466042
3,0982E-05	9476	0,675438596	0,348928277
3,1468E-05	11488	0,763157895	0,279027637
3,2974E-05	13347	0,850877193	0,226955799
3,3173E-05	13545	0,938596491	0,222017294

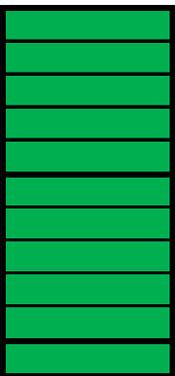
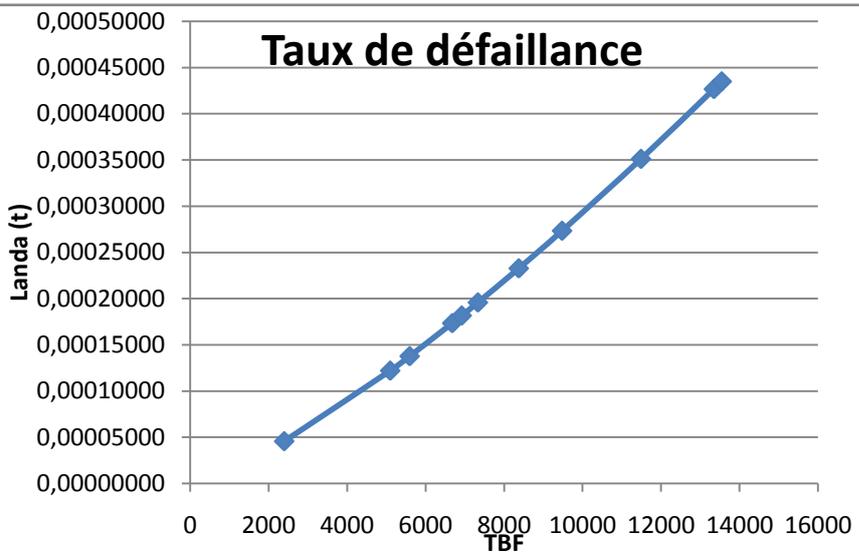


0,000255556

Histogramme de la probabilité de défaillance

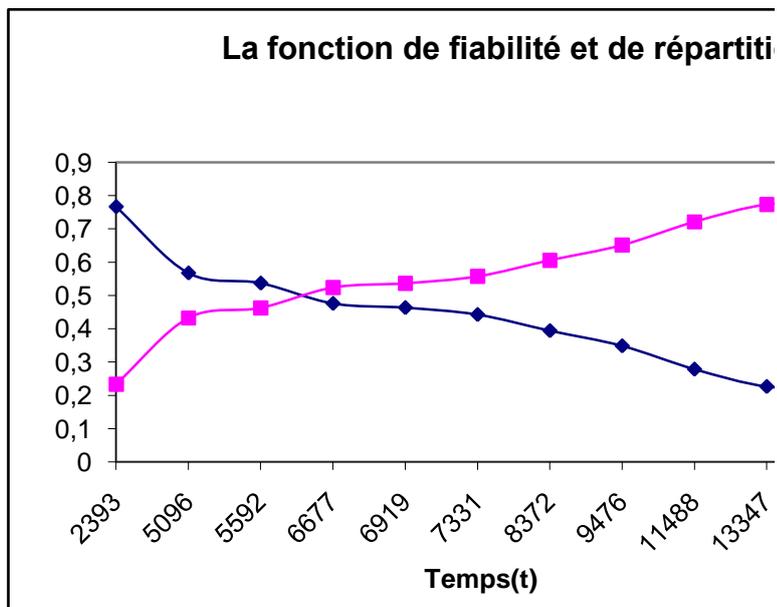


Taux de défaillance



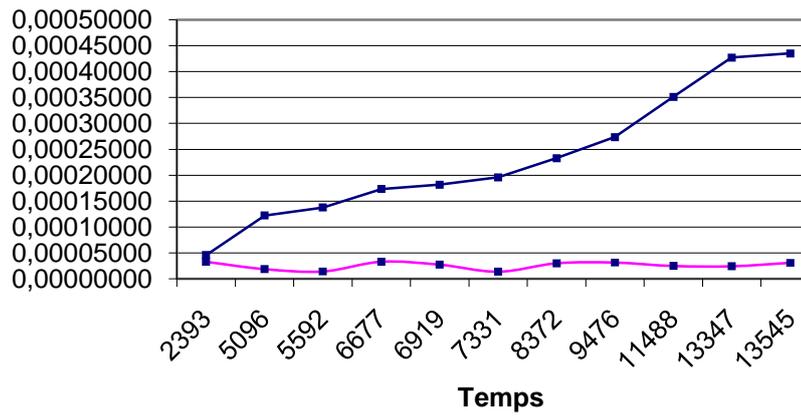
Fi	R(t)	Nombre de défaillance	Classes	F(t)	F(t)-f(t)
0,06140351	0,23953238	1	2709	-5095	-5095,00003
0,14912281	0,05308705	1	5418	-5591	
0,23684211	0,03301148	4	8127	-6676	
0,3245614	0,27190267	2	10836	-6918	
0,4122807	0,11771238	3	13545	-7330	
0,5	0,03138265			-8371	
0,5877193	0,15358858			-9475	
0,6754386	0,18152817			-11487	
0,76315789	0,54251234			-13346	
0,85087719	0,08877551			-13544	
0,93859649	0,17064176			1	

y	Fth(ti)	F(ti)-Fth(ti)	landa(i)
	0,23347571	-0,1720722	0,00004567
	0,43233409	-0,28321128	0,00012200
	0,46277234	-0,22593024	0,00013766
	0,52378645	-0,19922505	0,00017335
	0,53642068	-0,12413998	0,00018156
	0,5571639	-0,0571639	0,00019574
	0,60553396	-0,01781466	0,00023262
	0,65107172	0,02436687	0,00027326
	0,72097236	0,04218553	0,00035098
	0,7730442	0,07783299	0,00042655
	0,77798271	0,16061379	0,00043479



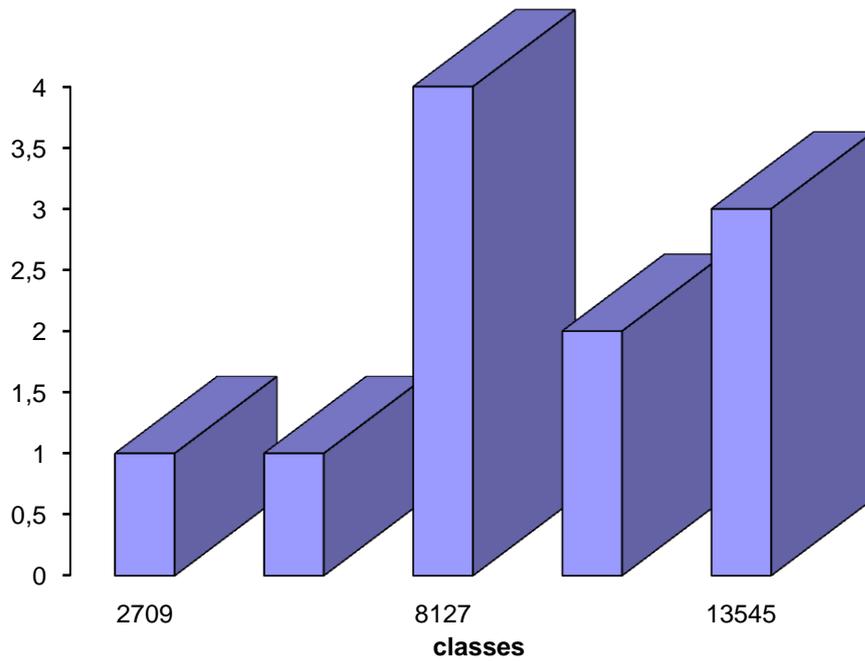
Série1

La densite de defaillance et le taux defaillan instantané



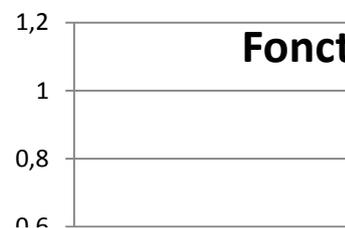
Série1

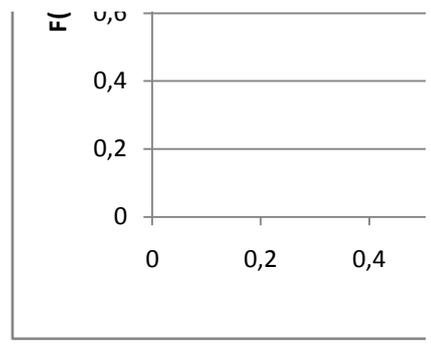
Histogramme de pannes par classes

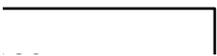
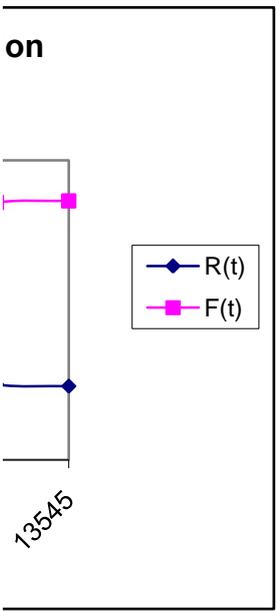


f)

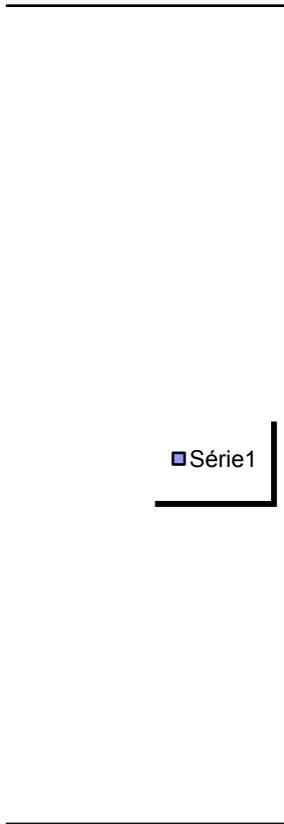
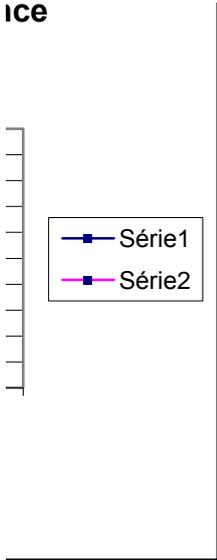
Fonct



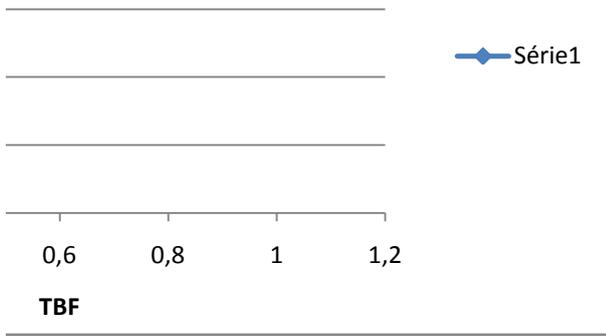


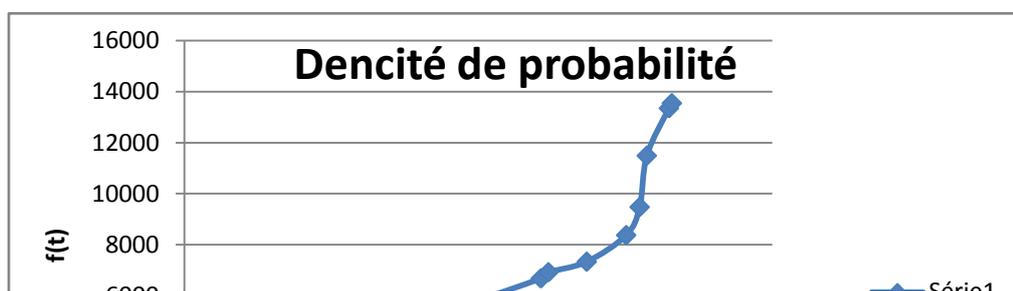
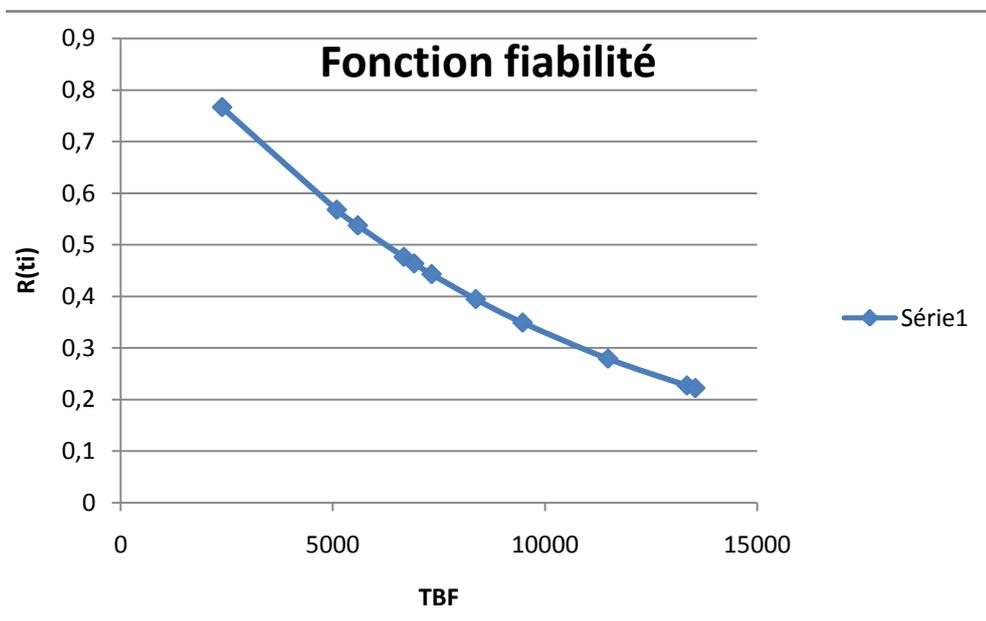


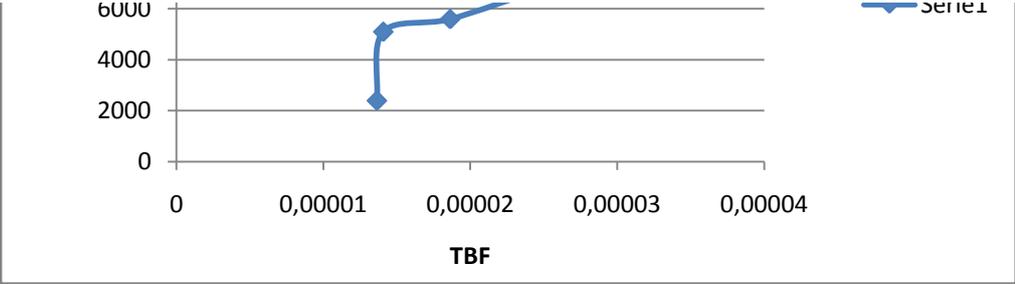
Ice



ion répartition







Éléments	AMDEC MACHINE – ANALYSE DES MODES DE DEFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITE					Phase de fonctionnement				Tableau : 1/3
	System : turbocompresseur centrifuge		Sous - Ensemble							
	Fonction	Modules de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité				Action corrective
						F	G	N	C	
Bâti	Renferme le compresseur	Ovalisation d'alésage portant les roulements	Usure	Détériorations des paliers	-échauffement -bruit	1	2	2	4	-réalisation des chemises pour les paliers. -changement du bâti
Vilebrequin	Transformer le mouvement de rotation	-usure au niveau des paliers lisses	Frottements	Mauvais fonctionnement de compresseur	-bruit	1	2	4	8	-changements des paliers lisses -remplacement du vilebrequin
Bielle	Transmet le Mouvement au piston	-Fissuration de taraudage	-choc -surcharge	Arrêt du compresseur	-visuel	1	4	2	8	-changements des paliers lisses -nouvelle conception
Les écrous	La fixation de la crosse et la tige	-Fissuration de taraudage	-choc -surcharge	Arrêt du compresseur	-visuel	1	4	2	8	Changement de l'écrou
Bague	Assurer l'étanchéité	-usure	-Fatigue	Echauffement	-fuit	1	4	2	8	Changement de la bague
Glissière	Guidage de piston	-usure	-Frottement	- vibration	-bruit	2	2	2	8	-vérifier le system de graissage -changement
Crosse de piston	Orienter le Mouvement de Translation	-usure	-frottement	-vibration	-bruit	2	2	2	8	-vérifier le system de graissage
Tige de piston	Assurer le Déplacement de Piston	-criques -flambage	-corrosion -surcharge	-mauvais fonctionnement	-échauffement -bruit	2	2	3	12	-remplacement de la tige -traitement de la tige

Chemise	Renfermer le Piston	-usure	Frottement	Mauvaise compression	Faible débit au refoulement	3	2	2	12	Remplacer la chemise
Cylindre	Renferme le compresseur	Déformation	Chocs	Mauvais fonctionnement	-visuel	1	2	1	2	Changer le cylindre
Segments	Assurer l'étanchéité	-usure	Fatigue	Mauvais compression	Faible débit de refoulement	2	4	3	24	Changement des segments
Piston	Assurer la compression	-Usure	Fatigue	Mauvais fonctionnement	-bruit -échauffement	1	2	2	4	Remplacement de piston
Calfat	Assurer l'étanchéité de gaz	-usure	Fatigue	Fuite de gaz	Faible débit de refoulement	2	4	3	24	Remplacement de calfat
Fonds inférieur	Renfermer le compresseur	Déformation	Choc	Mauvais fonctionnement	Visuel	1	1	1	1	Remplacement des fonds
Joint d'étanchéité	Assurer l'étanchéité	Usure	Fatigue	Fuite de gaz	Fuite d'huile	4	4	1	16	Changement des joints
Goujons	Assurer la fixation	Desserrage	Chocs	Vibration	Bruit	4	4	1	16	Serrage
Sonde	Capter les vibrations	Détérioration	Fatigue	Perte de précision	Mauvaise détection	4	4	3	48	Changement de la Sonde
Clapets d'aspiration et de refoulement	Faire passer La vapeur dans un seul sens	-usure -colmatage	-fatigue -mauvais fonctionnement de filtre	-diminution de pression	Faible débit	3	2	2	12	-changement de clapet -nettoyer ou changement de filtre

Eléments	AMDEC MACHINE – ANALYSE DES MODES DE DEFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITE					Phase de fonctionnement				Tableau :2/3
	System : turbocompresseur centrifuge		Sous – Ensemble : turbines							
	Fonction	Modules de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité				Action corrective
						F	G	N	C	
Bâti	Renferme le compresseur	Ovalisation d'alésage portant les roulements	Usure	Détériorations des paliers	-échauffement -bruit	1	2	2	4	-réalisation des chemises pour les paliers. -changement du bâti
Paliers	Guider et supporter le rotor	-usure -cassure	-fatigue -vibration	- échauffement -blocage de rotor	- échauffement -bruit	4	3	2	24	-changements des roulements
Rotor	Assurer le mouvement de rotation	-défaillance de la cage	-fatigue -surcharge	Arrêt de compresseur	-visuel	1	4	2	8	-changements de la cage
Goujons	Assurer la fixation	Desserrage	Chocs	Vibration	Bruit	3	4	1	12	Serrage
Joint d'étanchéité	Assurer l'étanchéité	-usure	-Fatigue	Echauffement	-fuite d'huile	3	4	1	12	Changement des changements
Les écrous	La fixation de la Crosse et la tige	Fissuration de taraudage	-choc -surcharge	Arrêt du compresseur	Visuel	1	4	2	8	Changement de l'écrou
Vannes	Assurer les commandes d'ouverture et fermeture	Fuit de vapeur	Raccords desserrés/ joints défectueux	-arrêt du compresseur	-visuel (fuit)	1	3	4	12	Changement

Tuyères	Assurer la Circulation de vapeur	Fuit de vapeur	-pression -fatigue	Arrêt de compresseur	Visuel (fuit)	1	3	4	12	Changement
Cylindre	Renferme le compresseur	Déformation	Chocs	Mauvais fonctionnement	-visuel	1	2	1	2	Changer le cylindre

Eléments	AMDEC MACHINE – ANALYSE DES MODES DE DEFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITE					Phase de fonctionnement				Tableau :2/3
	System : turbocompresseur centrifuge		Sous – Ensemble : turbine							
	Fonction	Modules de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité				Action corrective
						F	G	N	C	
Accouplement	Transmettre la puissance au bruit Réducteur	Défaillance de système d'accouplement	-desserrage des vis d'assemblage -surcharge -fatigue -désalignement	-mauvaise transmission -usure des paliers -usure des dents d'engrenage dégradation de fonctionnement de compresseur	Visuel	3	4	4	48	-réalignement Serrage de système de fixation

Bibliographie

[1] : Manuel d'indication « complexe FERTIAL ».

[2] : **MAIFIA HAMDANE**, *Programme de formation phase d'induction « unité d'acide nitrique »*.

[3] : Turbomachine, théorie générale (**Jan KRYSINSKI**).

[4] : cours « Eléments dimensionnant et architecture des machines tournantes », **ROBERT REY**, paris 2000.

[5] : Document technique du turbocompresseur **GHH**.

[6] Cf., infra, « Définitions normatives ».

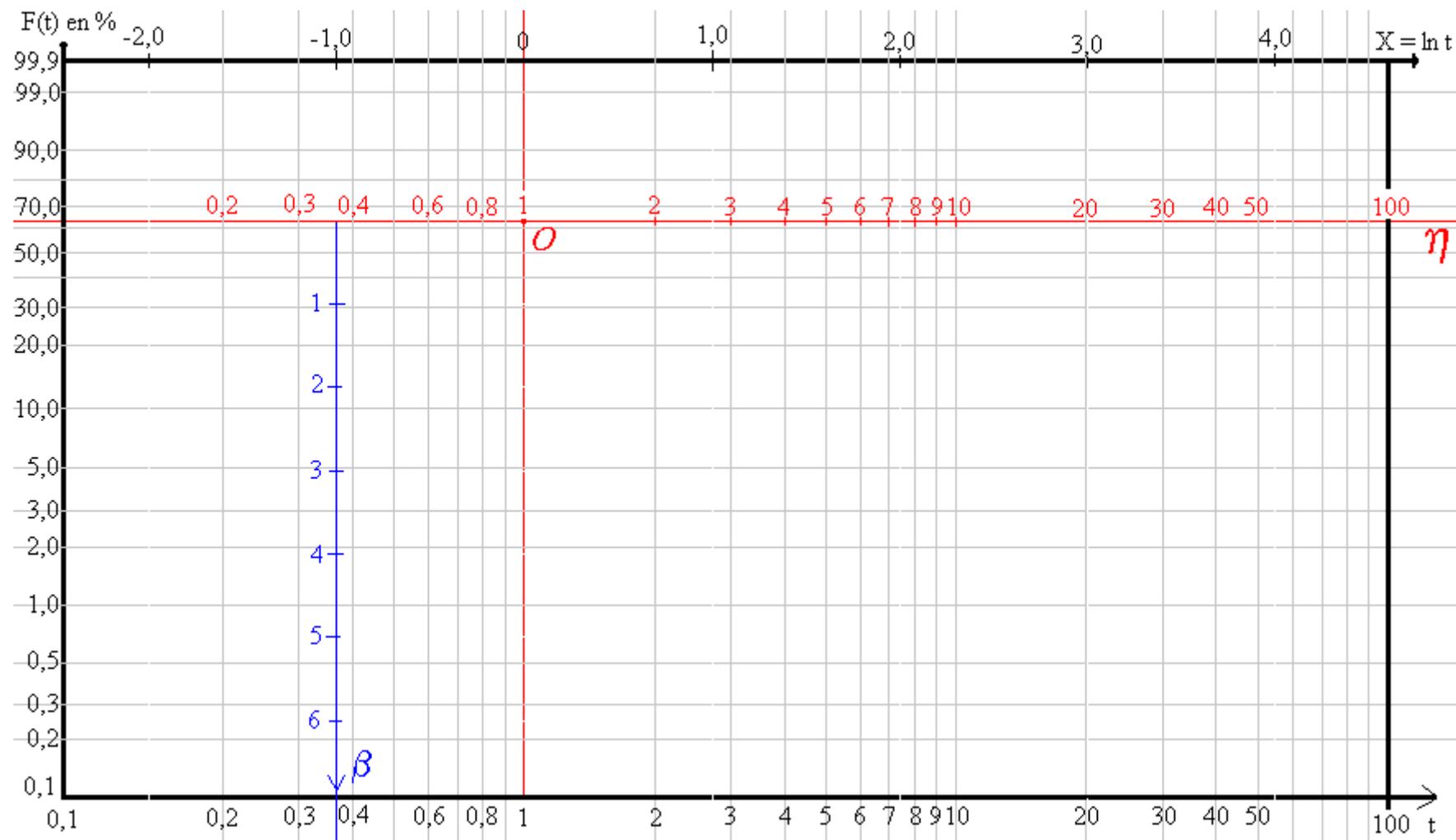
[7] : **RABIA KHELIF**, Cours de la Maintenance Basée sur la Fiabilité, Département Génie Mécanique, Université Badji Mokhtar, Annaba, 2016

[8] : **KALLOUCHE Abdelkader**, Cours FMD et sureté de fonctionnement, Département Génie Mécanique, Université Badji Mokhtar, Annaba, 2015.

[9] : **Jacques RIOUT** - Le guide de l'AMDEC machine Edition centre technique des industries mécanique -1994-

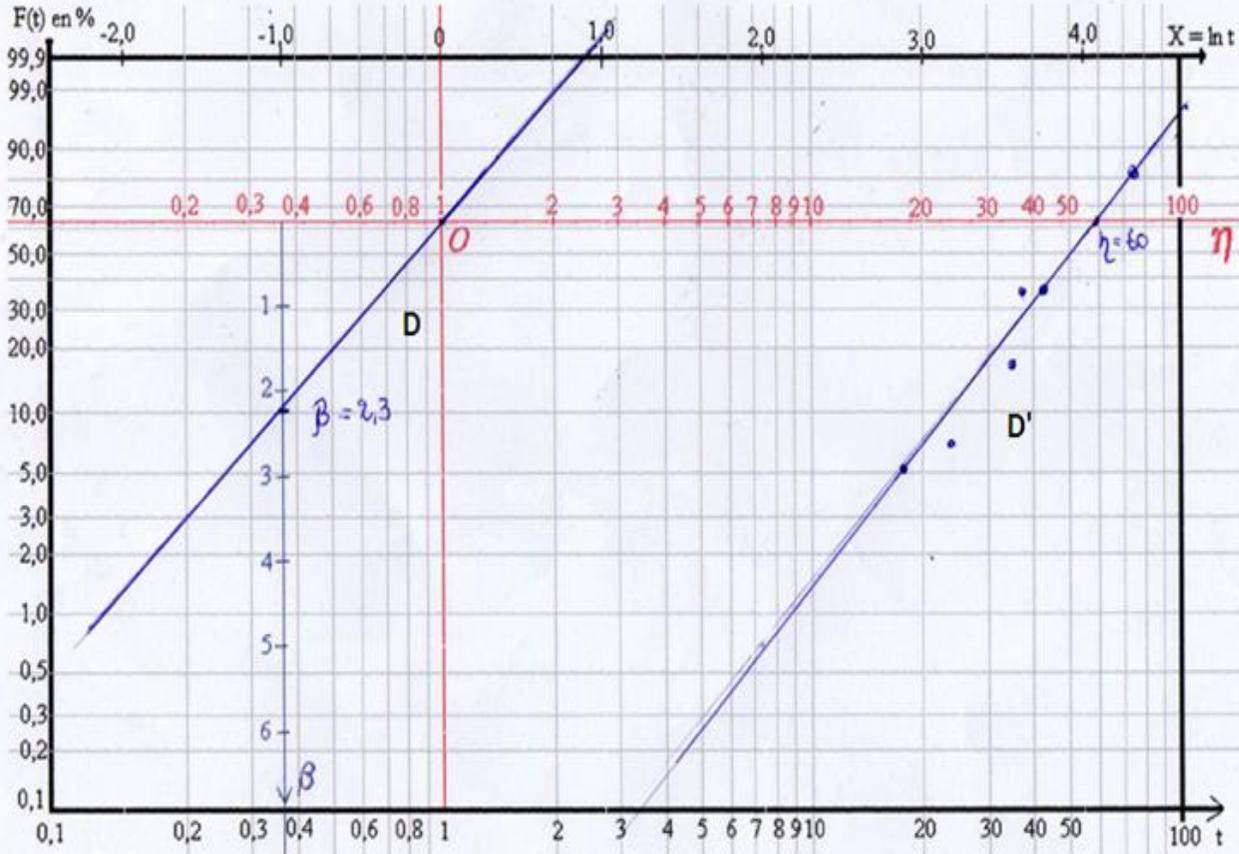
[10] : Monsieur **LAGRED**, cours sécurité industriel, Département Génie Mécanique, Université Badji Mokhtar, Annaba, 2016.

[11] : Monsieur **BOUSAID**, cours sécurité, licence, Département Génie Mécanique, Université Badji Mokhtar, Annaba, 2014



Annexe 3

Papier fonctionnel de Weibull



$60 \times 150 = 9000$
Donc $\eta = 9000$
 $\beta = 2.3$

N	Niveau Significatif α				
	0.20	0.15	0.10	0.05	0.01
1	0.900	0.925	0.950	0.975	0.995
2	0.684	0.726	0.776	0.842	0.929
3	0.565	0.597	0.642	0.780	0.828
4	0.494	0.525	0.564	0.624	0.733
5	0.446	0.474	0.510	0.565	0.669
6	0.410	0.436	0.470	0.521	0.610
7	0.381	0.405	0.438	0.486	0.577
8	0.358	0.381	0.411	0.457	0.543
9	0.339	0.360	0.388	0.432	0.514
10	0.322	0.342	0.368	0.410	0.490
11	0.307	0.326	0.352	0.391	0.468
12	0.295	0.313	0.338	0.375	0.450
13	0.284	0.302	0.325	0.361	0.433
14	0.274	0.292	0.314	0.349	0.418
15	0.266	0.283	0.304	0.338	0.404
16	0.258	0.274	0.295	0.328	0.392
17	0.250	0.266	0.286	0.318	0.381
18	0.244	0.259	0.278	0.318	0.381
19	0.237	0.252	0.272	0.309	0.371
20	0.231	0.246	0.264	0.301	0.363
25	0.210	0.220	0.240	0.294	0.356
30	0.190	0.200	0.220	0.270	0.300
35	0.180	0.190	0.210	0.240	0.290
>35	$\frac{1.07}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.14}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{N}}$

Test de Kolmogorov

Annexe 4 Tables numériques permettant de calculer la MTBF et l'écart type

β	A	B	β	A	B	β	A	B	β	A	B
0,05	2,43290E+18	9,03280E+23	1,75	0,89062	0,52523	3,45	0,89907	0,28822	5,15	0,91974	0,20505
0,1	3,62880E+06	1,55977E+09	1,8	0,88929	0,51123	3,5	0,89975	0,28473	5,2	0,92025	0,20336
0,15	2,59357E+03	1,21993E+05	1,85	0,88821	0,49811	3,55	0,90043	0,28133	5,25	0,92075	0,20170
0,2	1,20000E+02	1,90116E+03	1,9	0,88736	0,48579	3,6	0,90111	0,27802	5,3	0,92125	0,20006
0,25	2,40000E+01	1,99359E+02	1,95	0,88671	0,47419	3,65	0,90178	0,27479	5,35	0,92175	0,19846
0,3	9,26053E+00	5,00780E+01	2	0,88623	0,46325	3,7	0,90245	0,27164	5,4	0,92224	0,19688
0,35	5,02914E+00	1,99761E+01	2,05	0,88589	0,45291	3,75	0,90312	0,26857	5,45	0,92272	0,19532
0,4	3,32335E+00	1,04382E+01	2,1	0,88569	0,44310	3,8	0,90379	0,26558	5,5	0,92320	0,19379
0,45	2,47859E+00	6,46009E+00	2,15	0,88561	0,43380	3,85	0,90445	0,26266	5,55	0,92368	0,19229
0,5	2,00000E+00	4,47214E+00	2,2	0,88562	0,42495	3,9	0,90510	0,25980	5,6	0,92414	0,19081
0,55	1,70243E+00	3,34530E+00	2,25	0,88573	0,41652	3,95	0,90576	0,25701	5,65	0,92461	0,18935
0,6	1,50458E+00	2,64514E+00	2,3	0,88591	0,40848	4	0,90640	0,25429	5,7	0,92507	0,18792
0,65	1,36627E+00	2,17887E+00	2,35	0,88617	0,40080	4,05	0,90704	0,25162	5,75	0,92552	0,18651
0,7	1,26582E+00	1,85117E+00	2,4	0,88648	0,39345	4,1	0,90768	0,24902	5,8	0,92597	0,18512
0,75	1,19064	1,61077	2,45	0,88685	0,38642	4,15	0,90831	0,24647	5,85	0,92641	0,18375
0,8	1,13300	1,42816	2,5	0,88726	0,37967	4,2	0,90894	0,24398	5,9	0,92685	0,18240
0,85	1,08796	1,28542	2,55	0,88772	0,37319	4,25	0,90956	0,24154	5,95	0,92729	0,18107
0,9	1,05218	1,17111	2,6	0,88821	0,36696	4,3	0,91017	0,23915	6	0,92772	0,17977
0,95	1,02341	1,07769	2,65	0,88873	0,36097	4,35	0,91078	0,23682	6,05	0,92815	0,17848
1	1,00000	1,00000	2,7	0,88928	0,35520	4,4	0,91138	0,23453	6,1	0,92857	0,17721
1,05	0,98079	0,93440	2,75	0,88986	0,34963	4,45	0,91198	0,23229	6,15	0,92898	0,17596
1,1	0,96491	0,87828	2,8	0,89045	0,34427	4,5	0,91257	0,23009	6,2	0,92940	0,17473
1,15	0,95170	0,82971	2,85	0,89106	0,33909	4,55	0,91316	0,22793	6,25	0,92980	0,17351
1,2	0,94066	0,78724	2,9	0,89169	0,33408	4,6	0,91374	0,22582	6,3	0,93021	0,17232
1,25	0,93138	0,74977	2,95	0,89233	0,32924	4,65	0,91431	0,22375	6,35	0,93061	0,17113
1,3	0,92358	0,71644	3	0,89298	0,32455	4,7	0,91488	0,22172	6,4	0,93100	0,16997
1,35	0,91699	0,68657	3,05	0,89364	0,32001	4,75	0,91544	0,21973	6,45	0,93139	0,16882
1,4	0,91142	0,65964	3,1	0,89431	0,31561	4,8	0,91600	0,21778	6,5	0,93178	0,16769
1,45	0,90672	0,63522	3,15	0,89498	0,31135	4,85	0,91655	0,21586	6,55	0,93216	0,16657
1,5	0,90275	0,61294	3,2	0,89565	0,30721	4,9	0,91710	0,21397	6,6	0,93254	0,16547
1,55	0,89939	0,59252	3,25	0,89633	0,30319	4,95	0,91764	0,21212	6,65	0,93292	0,16439
1,6	0,89657	0,57372	3,3	0,89702	0,29929	5	0,91817	0,21031	6,7	0,93329	0,16332
1,65	0,89421	0,55635	3,35	0,89770	0,29550	5,05	0,91870	0,20853	6,75	0,93366	0,16226
1,7	0,89224	0,54024	3,4	0,89838	0,29181	5,1	0,91922	0,20677	6,8	0,93402	0,16121