

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Ibn Khaldoun de Tiaret

Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie Mécanique



MÉMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Génie Mécanique

Parcours : Master

Spécialité : Maintenance Industrielle

Thème

Calcul FMD d'un compresseur à vis

Préparé par :

Feghoul Mohamed

Farradj Mohamed

Soutenu publiquement le : 02 / 07 / 2020, devant le jury composé de :

M. Sassi Ahmed	Maître de Conférences "A" (Univ. Ibn Khaldoun)	Président
M. Guemmour mohamed	Maître de Conférences "B" (Univ. Ibn Khaldoun)	Examinateur
M. Moulgaada Abdelmaïid	Maître de Conférences "A" (Univ. Ibn Khaldoun)	Examinateur
M. Saad mohamed	Maître de Conférences "B" (Univ. Ibn Khaldoun)	Encadreur

Année universitaire : 2019 - 2020

Remerciements

Je Tiens A Exprimer Ma Profonde Gratitude A Mr sassi ahmed, Je Tiens Aussi A Remercier Mr Moulgaada , Mr Guemmour Mohamed Et Mr Saad Pour L'intérêt Apporter A Mon Travail Et D'voir Examiner Et Faire Partis Des Jury Et Aussi, Pour Leur Lecture Attentive De Mon Mémoire Ainsi Que Pour Les Remarques Qu'ils M'adresseront Lors De Cette Soutenance Afin D'améliorer Mon Travail Mes Remerciements S'adressent Egalement A Tous Les Enseignants Qui Ont Fait Beaucoup D'efforts Durant Ces Années Pour Nous Fournir Une Formation De Qualité.

Je Présente Mes Vifs Et Chaleureux Remerciements A Tous Ceux Qui Ont Veillé De Près Ou De Loin A Ce Que J'accomplisse Ma Formation Dans Les Conditions Les Plus Favorables.

J'ose Espérer Atteindre L'objectif Fixé Par Ce Mémoire Qu'est Gravir Un Echelon Scientifique Et Tracer Un Axe De Recherche Supplémentaire Lors De La Voie De Mon Projet Professionnel.

Dédicaces

*J'ai le grand honneur de dédier ce modeste travail
A ceux qui m'ont encouragé et soutenu moralement et
matériellement pendant les moments plus difficiles
durant ma vie.*

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

A mon très cher père

A mes très chers frères : MUSTAPHA- KARIM-

A mes très chères sœurs

A toute ma grande famille : FEGHOUL

*A mes très chers amis : BACHIR- HAMZA-ABDOU-
MOHAMED-*

A tous mes amis partout et en particuliers

*A L'ensemble de l'équipe pédagogique de département génie
mécanique*

A mes amis de l'Université IBN KHALDOUN –TIARET-

FEGHOUL MOHAMED

Dédicaces

*J'ai le grand honneur de dédier ce modeste travail
A ceux qui m'ont encouragé et soutenu moralement et
matériellement pendant les moments plus difficiles
durant ma vie.*

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

A mon très cher père

A mes très chers frères : TAYEB_NAAR

A mes très chères sœurs

A toute ma grande famille : FARRADJ

*A mes très chers amis : - HAMADI-TAHA-ABDELHAK-
SAADOUN*

A tous mes amis partout et en particuliers

*A L'ensemble de l'équipe pédagogique de département génie
mécanique*

A mes amis de l'Université IBN KHALDOUN -TIARET-

FARRADJ MOHAMED

Table des matières

Introduction générale	01
Chapitre I : généralités sur les compresseurs	
I. Introduction	03
I.1.Définition de compresseur	03
I.2.But de la compression	03
I.3.Classification	04
I.4.Les compresseurs dynamiques	05
I.4.1 .Les compresseurs axiaux	06
I. 4.2.Les compresseurs centrifuges	06
I.5.Compresseur Volumétrique	07
I.5.1. Compresseurs alternatifs	08
I.5.2.Compresseur rotatifs	09
I.6.compreteur à vis	12
I.6.1.Les composants du compresseur à vis	13
I.6.2.Classification principale de compresseur rotatif à vis	13
I.6.3.Classification par mode d'emploi	14
I.7.Domaine d'application du compresseur d'air à vis	15
I.8.Principe de fonctionnement	15
I.9.Types des compresseurs en fonction de débit et de la pression	18
I.10.Vision générale du compresseur à vis	18
I.11.Avantages et inconvénients du compresseur à vis	18
Conclusion	19
Chapitre II. : Quantification FMD	
II.1.Introduction	21
II.1.Généralité sur les méthodes d'analyse FMD	21
II.2.Analyses FMD	21
II.3. Indicateurs de FMD	22
II.3.1.Indicateurs de fiabilité	23
II.3.2.Indicateurs de maintenabilité	23
II.3.3.Indicateurs de disponibilité	23
II.4.Tableau de synthèse des analyses FMD	24
II .5. FIABILITE	24
II.5.1. Définition de la fiabilité	24
II.5.2. Objectifs de la fiabilité	24
II.5.3. Principales lois de probabilité utilisées en fiabilité	24
II.6.MAINTEBALITE	30
II.6.1. Définition de la maintenabilité	30
II.6.2. Objectifs de la maintenabilité	31
II.6.3. Facteurs de maintenabilité	31
II.6.4. Critères de maintenabilité	32
II.6.5. Autres critères de maintenabilité	32
II.6.6. Analyse de la maintenabilité opérationnelle	33
II.6.7. Approche mathématique de la maintenabilité m(t)	34
II.7.DISPONIBILITE	34
II.7 .1.Définition de la disponibilité	34
II.7.2.Objectifs de la disponibilité	34
II.7.3. Facteurs de disponibilité	35

II.7.4.Quantification de la disponibilité	35
II.7 .5.Approche mathématique de la disponibilité	36
Conclusion	38
Chapitre III : Quantification de la fiabilité	
III.1.Description de la méthode FMD	40
III.2.Définition du système a étudié	40
III.3.Principe de fonctionnement	40
III.4.Objective à éteindre.	40
III.5 Exploitation de l'historique	42
III.6 Etude de fiabilité	43
III.6.1.Calcul les paramètres de Wei bull	43
III.6.2.Déterminations les paramètres de Wei bull	44
III.6.3.Test (KOLMOGOROV SMIRNOV)	45
III.6.4. Exploitation les paramètres de WEIBULL	48
III.6.5.Étude de modèle de Wei bull	49
III.6.6.La fiabilité R(t)	50
III.7.Maintenabilite	52
III.7.1.Calcul de Maintenabilité du compresseur	52
III.8.Disponibilité	53
III.8.1.Calcul de la disponibilité du compresseur	54
III.9.Plan de maintenance	56
Conclusion	57
Conclusion générale	58

Listes des figures

(Figures) chapitre I	page
Figure(I.1) : Schéma d'un compresseur.	03
Figure (I.2) : Schéma de classification de compresseurs	05
Figure (I.3) : Les types de compresseur dynamique.	05
Figure (I.4) : Vue d'un compresseur axial.	06
Figure (I.5): Compresseur centrifuge.	07
Figure(I.6) : Les types des compresseurs volumétriques.	07
Figure (I.07) : Compresseur à piston.	08
Figure (I.08) : Compresseur à membrane.	09
Figure (I.09) : Compresseurs rotatifs à lobe.	10
Figure (I.10): Principe de fonctionnement de compresseurs à lobe.	10
Figure (I.11) : Schéma de cycle de compresseurs à spirales.	11
Figure (I.12) : Schéma de cycle de compresseurs à palette.	12
Figure (I.13) : Compresseur rotatif à vis (avec la permission d'Atlas Copco).	12
Figure (I.14) : Vis de compresseur.	13
Figure(I.15) : Composants du compresseur à vis.	13
Figure(I.16) : Schéma de compresseur mono vis.	14
Figure(I.17) : Schéma de compresseur double vis.	14
Figure (I.18) : Principe de fonctionnement.	16
Figure (I.19) : Admission.	16
Figure (I.20) : Compression.	16
Figure (I.21): Extraction.	17
Figure(I.22) : Cycle de fonctionnement du sécheur.	17
Figure (I.23): Type de compresseur en fonctionne de débit et de la pression.	18

(Figures) chapitre II	page
Figure (II.1) : Les durées caractéristiques de FMD.	21
Figure (II.2) : Courbe en baignoire.	26
Figure (II.3) : Variation de forme (β).	26
Figure (II.4) : Papier de Weibull.	28
Figure(II.5): Distribution des fonctions de la loi exponentielle.	29
Figure (II.6) : Les différents critères de maintenabilité.	33
Figure (II.7) : Les différents facteurs de disponibilité.	35
(Figures) chapitre III	page
Figure(III.1) : Principe de fonctionnement.	41
Figure (III.2): Papier de Weibull en logiciel minitab18.	44
Figure(III.3): Estimation les paramètres de Wei bull en logiciel minitab18.	44
Figure (III.4) : La Courbe Taux de défaillance (logiciel EXCEL).	46
Figure (III.5) : La Courbe Densité De Probabilité (logiciel EXCEL).	48
Figure (III.6) : La Courbe De Fonction Répartition (logiciel Excel).	49
Figure(III.7) : La Courbe De la Fonction Fiabilité (logiciel Excel).	50
Figure(III.8) : La Courbe de Maintenabilité (logiciel Excel).	52
Figure (III.9) : La Courbe de disponibilité (logiciel mini tab 18).	53

Liste des tableaux

(Tableaux) chapitre II	page
Tableau (II.1) : Niveau de caractérisation FMD d'un équipement.	21
Tableau(II.2): les analyses FMD possible.	24
Tableau(II.3) : Les facteurs de maintenabilité.	31

(Tableaux) chapitre III	page
Tableau (III.1) : caractéristiques techniques du compresseur GA90+.	40
Tableau (III.2) : tableaux historique du compresseur GA90+.	42
Tableau(III.3):Fonction de répartition réelle.	43
Tableau (III.4) : Tableau K-S.	44
Tableau (III.5) : calcul de taux de défaillance	46
Tableau (III.6) : Calcul la fonction de la densité de probabilité.	47
Tableau (III.7) : Fonction de répartition.	48
Tableau (III.8) : Calcul de la fiabilité.	50
Tableau (III.9): La maintenabilité du compresseur.	51
Tableau (III.10): La disponibilité du compresseur.	53
Tableau (III.11) : Plan de maintenance pour compresseur GA90+.	55

LISTE DES ABRÉVIATIONS

Liste des abréviations

TTR : Temps de réparation.

TBF : Temps de bon fonctionnement.

MTTR : Moyenne des temps techniques de réparation.

MTBF : Moyenne des temps de bon fonctionnement.

R(t) : Fonction de fiabilité.

F(t) : Fonction de défaillances.

f(t) : Densité de probabilité.

$\lambda(t)$: Taux de défaillance.

μ : temps de réparation.

F : Fiabilité.

M : Maintenabilité.

D : Disponibilité.

β : Paramètre de forme.

γ : Paramètre de position.

η : Paramètre d'échelle.

K-s: KOLMOGOROV SMIRNOV.

DN: difference maximal

Introduction générale

En raison de notre économie nationale, le secteur d'énergie est le plus dominant dans les activités, considérant que l'Algérie est un pays d'hydrocarbure. Due à l'extraction et l'exploitation de pétrole et de gaz et le transport de ces sources d'énergie et leur utilisation dans la production de l'électricité à travers les centrales électrique il y a une nécessité au domaine de Turbomachines avec tous leurs éléments et dispositifs. Les compresseurs centrifuges sont importants dans les différentes activités.

L'air comprimé est souvent décrit comme la quatrième source d'énergie aujourd'hui 10% de l'énergie globale utilisée dans le monde industriel. Avec de ces nombreuses applications dans différents environnements dépendant de l'air comprimé.

Parmi les machines ayant un rôle primordial dans les domaines d'activité industrielle, on peut citer par exemple les compresseurs. Pour être en mesure de choisir des compresseurs selon les exigences technologiques et de les exploiter d'une façon compétente, un spécialiste doit parfaitement connaître les constructions de ces machines, leur principe de fonctionnement et la base théorique qui sert à expliquer leurs caractéristiques.

Les compresseurs sont des machines qui transforment l'énergie mécanique fournie par une machine motrice en énergie de pression, en réalisant un accroissement de pression d'un fluide à l'état gazeux. Le mécanicien doit être en mesure de choisir des compresseurs selon les exigences technologiques, les paramètres principaux, les règles de l'entretien et la base théorique pour prévoir l'état de la machine dans les différentes conditions d'exploitation.

L'absence de données fiables et d'outils efficaces de traitement de ces données a réduit la fonction maintenance à des tâches de dépannage, et par le fait même, à une fonction dont les coûts ne cessent d'augmenter et dont la contribution à la performance de l'entreprise n'est pas évidente. Les responsables des services de maintenance dans les entreprises ne sont pas toujours en mesure de défendre rigoureusement leur budget d'opération et encore moins leur contribution à l'efficacité de l'entreprise.

L'application des méthodes prévisionnelles de maintenance à des matériels à haute production est moins coûteuse que la perte de production due un arrêt du matériel. L'arrêt d'une seule machine peut entraîner l'arrêt de toute la ligne.

Pour la réalisation de ce mémoire, nous avons organisé notre étude comme suit :

Dans le premier chapitre ; présente les généralités sur les compresseurs, la classification des différents types ainsi que leur principe de fonctionnement et la théorie les compresseurs

Ensuite, le deuxième chapitre présente les méthodes d'analyse FMD est réparti en trois volets ; le premier volet est consacré la fiabilité, le deuxième la maintenabilité est dernièrement en attaque la disponibilité de compresseurs a vis (GA90+).

Le troisième chapitre nous avons fait une étude FMD de ce compresseur. Enfin, nous terminons notre travail par une conclusion générale.

CHAPITRE I
GÉNÉRALITÉS SUR LES
COMPRESSEURS

I. Introduction

Les turbomachines sont aujourd'hui utilisées dans des nombreux domaines, comme la production d'énergie, l'automobile, la propulsion aéronautique, ... Leur fonctionnement est basé sur le transfert d'énergie entre une partie mécanique tournante et un fluide. Cet échange peut être à la fois génératif (compresseur, pompe) comme réceptif (turbine).

Les compresseurs sont des types de turbomachine. Toutes les turbomachines qui sont les turbocompresseurs, les ventilateurs, les turbines à vapeur; à gaz; hydrauliques; les pompes centrifuges; et axialesEtc., fonctionnent théoriquement d'après les mêmes principes. [1]

I.1. C'est quoi un compresseur ?

Les compresseurs sont des appareils utilisés pour comprimer le gaz pour réaliser un accroissement de pression d'un fluide à l'état gazeux (voire la Figure I.1). Les fluides traversant les compresseurs peuvent être de nature diverse : gaz pur, mélange gazeux, vapeur surchauffée ou saturée, cette augmentation de pression peut être effectuée à l'aide de deux techniques différentes occupées par le gaz les compresseurs à déplacement positif augmentent la pression en réduisant le volume occupé par le gaz.

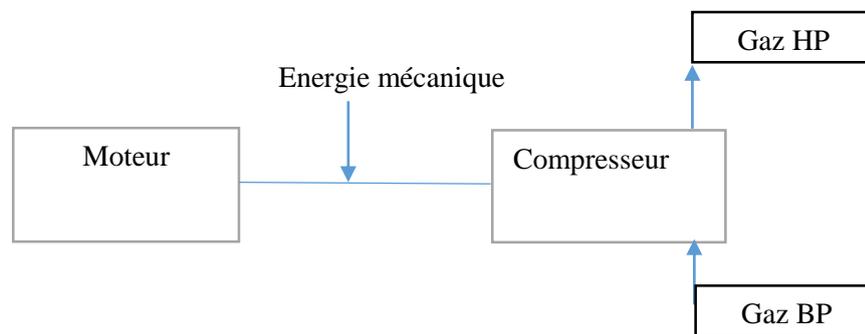


Figure I.1 : schéma d'un compresseur.

I.2. But de la compression

La compression en général, peut être imposée par la nécessité technique de déplacer une certaine quantité de gaz d'un système à une certaine pression, vers un autre système à une autre pression plus élevée. [4]

Cette opération a pour but de:

- Faire circuler un gaz dans un circuit fermé.

- Produire des conditions favorables (de pression) pour des réactions chimiques.
- Envoyer un gaz dans un pipe-line de la zone de production vers l'utilisateur.
- Obtenir de l'air comprimé pour la combustion.

I.3. Classification des compresseurs

Les compresseurs peuvent être classés selon plusieurs caractéristiques [4] :

- Mouvement des pièces mobiles (mouvement linéaire, rotatif).
- le principe de fonctionnement (volumétrique, dynamique).
- les compresseurs des gaz.

Comme il est indiqué (la Figure I.2). Selon le principe de fonctionnement, les compresseurs sont classés en volumétrique et dynamique.

Compresseur Volumiques

Ce sont des unités avoir des caméras de travail dans lequel le gaz est comprimé. La compression est due à des changements périodiques du volume des chambres connectées à l'entrée (sortie) de l'appareil. Pour empêcher le gaz de revenir de l'appareil régler le système de valve qui s'ouvrent et se ferment à un certain point de remplissage et de vidange de la chambre.

Compresseurs dynamiques

Dans les compresseurs dynamiques, une augmentation de la pression du gaz se produit en raison de accélérer son mouvement. En conséquence, l'énergie cinétique des particules de gaz est convertie en énergie de pression.

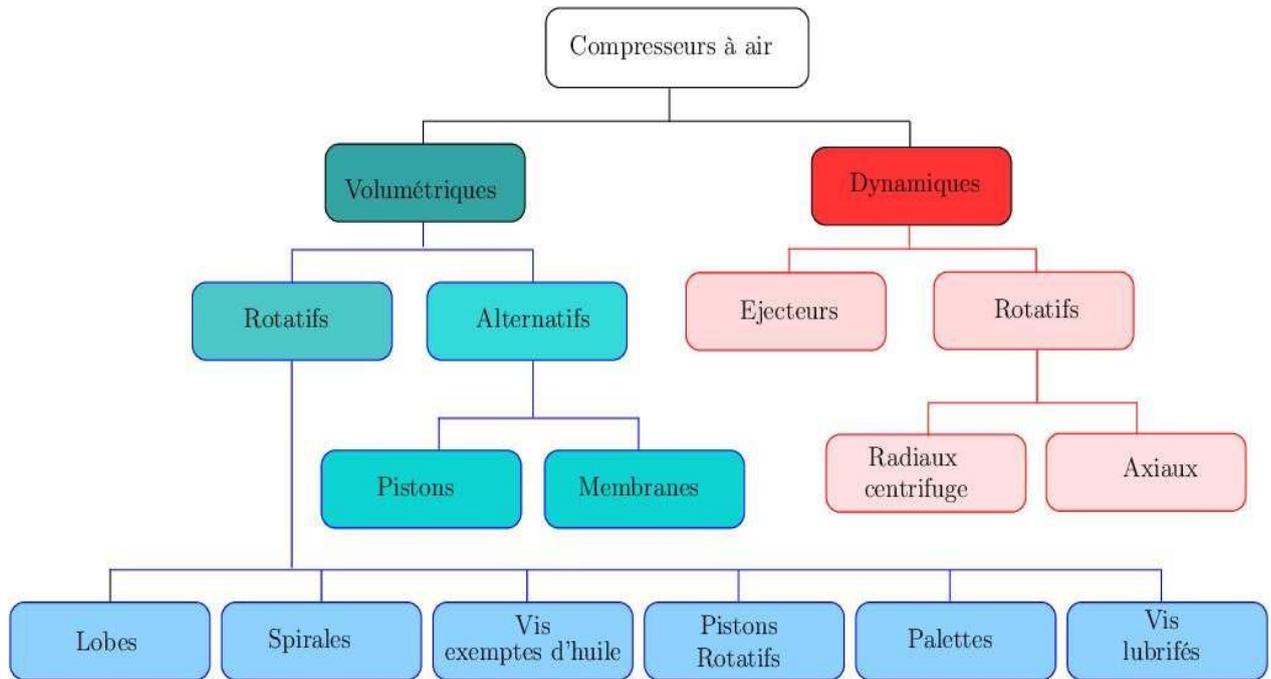


Figure I.2 : Schéma de classification des compresseurs. [1]

I.4. Les Compresseur dynamique

Les turbocompresseurs sont des compresseurs dynamiques mini d'aube. Ils sont des compresseurs dans lequel l'augmentation de pression du fluide s'obtient par transformation d'énergie cinétique en énergie potentielle, avec écoulement continu de l'aspiration au refoulement ; Les turbocompresseurs se divisent en appareils centrifuges et axiaux.

Voire (Figure I.3).

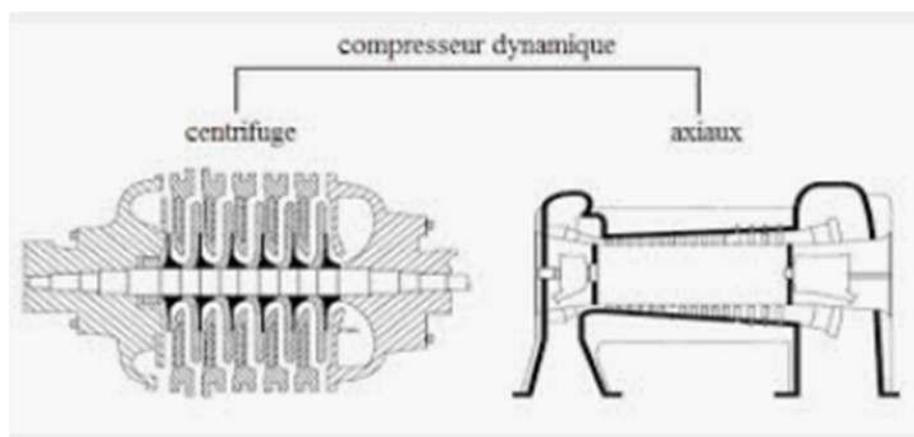


Figure I.3 : Les types de compresseur dynamique.

I.4.1. Les compresseurs axiaux

Définition

Un compresseur axial a un débit axial, grâce auquel l'air ou le gaz passe le long de l'arbre du compresseur à travers des rangées de pales rotatives et stationnaires comme représente la (Figure I.4) .Les compresseurs axiaux sont généralement plus petits et plus légers que leurs homologues centrifuges et fonctionnent normalement à des vitesses plus élevées. Ils sont utilisés pour des débits d'air constants et élevés à une pression relativement modérée, par exemple dans les systèmes de ventilation. Compte tenu de leur vitesse de rotation élevée, ils sont idéalement couplés à des turbines à gaz pour la production d'électricité et la propulsion des avions. [5]



Figure I.4: Vue d'un compresseur axial.

I.4.2. Les compresseurs centrifuges

Définition

La (Figure I.5) présente un turbocompresseur centrifuges .il augmente l'énergie du gaz comprimé grâce à la force centrifuge qui est provoquée par le mouvement de rotation des roues munies d'aubes. L'indice principal de ses compresseurs est la continuité de l'écoulement de l'entrée à la sortie. A l'intérieur de la roue se passe la compression du gaz et l'augmentation de l'énergie cinétique obtenue par le gaz est transformée en énergie potentielle dans les éléments d'immobiles. La différence entre ces deux types est le sens de l'écoulement à travers la machine, les compresseurs centrifuges comptent parmi les compresseurs les plus largement utilisés dans l'industrie.

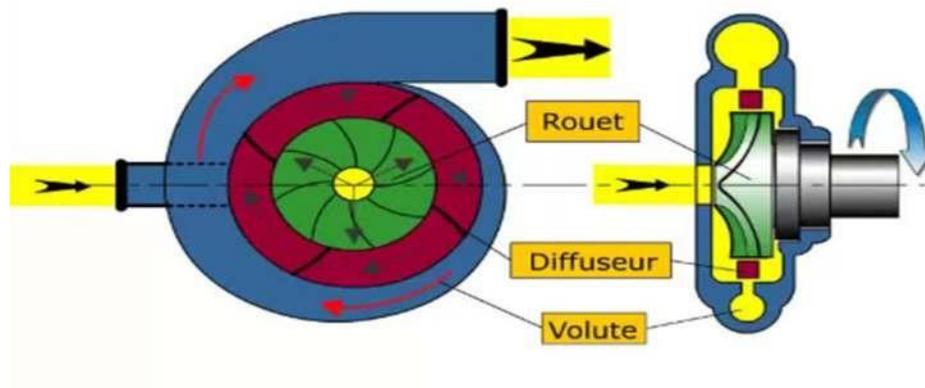


Figure I.5: compresseur centrifuge. [2]

I.5. Compresseur volumétrique

Définition

Les compresseurs volumétriques ont pour principe général la variation de volume d'une cavité entre l'entrée et la sortie de la machine, il se caractérise par l'encapsulation, ou emprisonnement, du fluide qui le traverse dans un volume fermé que l'on réduit progressivement. Un retour de ce fluide dans le sens des pressions décroissantes y est empêché par la présence d'une ou plusieurs parois mobiles. Dans ce type de machine ; De par leur conception, les compresseurs volumétriques conviennent particulièrement bien pour traiter les débits de fluide relativement faibles, éventuellement très variables, et sous des rapports de pression relativement importants.

Leur principe de fonctionnement est le suivant : une masse fixe de gaz à la pression d'aspiration P_1 est emprisonnée dans une enceinte de volume variable. Pour augmenter la pression, ce volume est progressivement réduit, d'une manière qui diffère selon la technique utilisée.

La figure I.6 indique les différents types de compresseurs volumétriques

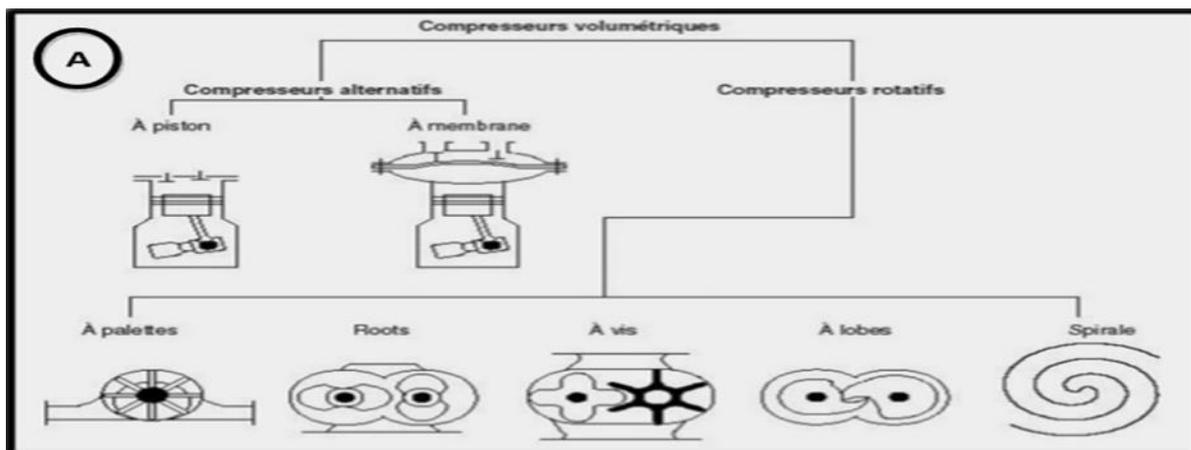


Figure I.6: Les types des compresseurs volumétriques. [2]

I.5.1. Compresseurs alternatifs

Le gaz est introduit dans un espace limité par des parois métalliques (cylindre et piston). L'espace à disposition du gaz est réduit (le piston avance) et par conséquent la pression augmente, quand la pression est pareille à celle du circuit de haute pression le gaz est refoulé.

Dans cette catégorie de compresseur on distingue deux types :

A/-Compresseur à piston (voire Figure I.7).

Le compresseur à piston est l'un des tout premiers modèles de compresseurs, mais il reste le plus polyvalent et offre toujours un excellent rendement. Le compresseur à piston pousse un piston dans un cylindre au moyen d'une bielle et d'un vilebrequin. Si un seul côté du piston est utilisé pour la compression, le compresseur est appelé compresseur à simple effet. Si les deux côtés du piston (supérieur et inférieur) sont utilisés, le compresseur est alors un compresseur à double effet.

La polyvalence des compresseurs à piston ne connaît virtuellement aucune limite. Ils compriment aussi bien l'air que le gaz avec de très faibles altérations. La configuration d'un compresseur à piston peut être monocylindre pour de faibles pressions, de faibles volumes ou multi-étages pour comprimer un fluide à de très hautes pressions. Dans ce type de compresseurs, le gaz est comprimé par paliers, sa pression augmentant palier après palier jusqu'à devenir très élevée. Les compresseurs à piston sont classés par différents indices: Disposition, nombres des cylindres (horizontale, verticale), monocylindrique,... méthode de refroidissement (air, eau) ou celle de graissage (barbotage, sous pression,...).

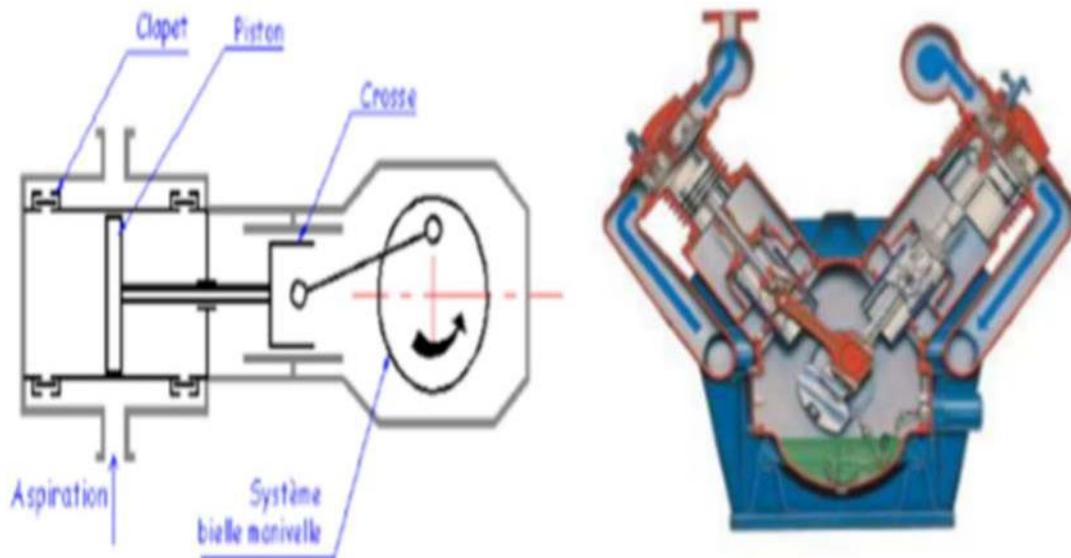


Figure I.7: Compresseur à piston.

B/-Compresseur à membrane

Comme montré dans la (figure I.8) .Ce type de compresseur à membranes métalliques commandé hydrauliquement est constitué principalement par une partie mécanique et une tête de compression, ce type est utilisée dans l'industrie chimique notamment, les compresseurs à membranes sont employés pour la compression de gaz dangereux.

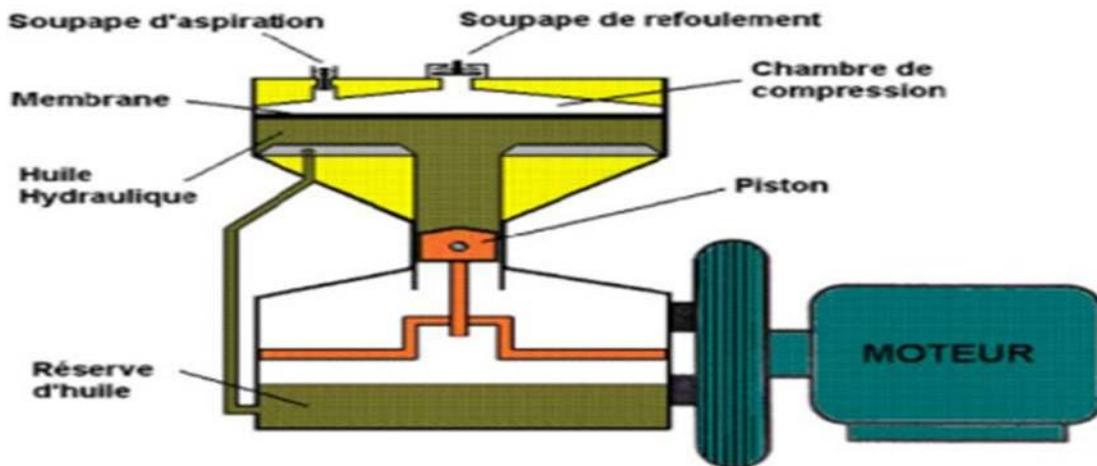


Figure I.8 : compresseur à membrane. [2]

I.5.2. Compresseurs rotatifs

A/-Compresseur rotatifs a lobe

Compresseurs à dents ou à piston rotatifs pour les uns, à lobes pour les autres ,ils utilisent un principe identique .Dans un même stator se trouvent deux rotors non lubrifiés, ces deux rotors synchronisés en rotation ,tournent en sens inverse et comportent chacun une ou deux [dents] qui vont permettre en un tour d'effectuer un ou deux cycles d'aspiration-compression puis refoulement ,et cela en masquant ou dégageant des orifices d'aspiration et autre pour le refoulement pratiques sur les côtes du carter.

Du fait du mouvement de la dent du rotor intérieur dans le creux du rotor extérieur, il est possible de réaliser avec ce type de compresseur une compression interne dont le rapport est fonction de la position de l'ouverture de l'orifice de refoulement par rapport à la rotation des lobes. Comme montré dans la (figure I.9)

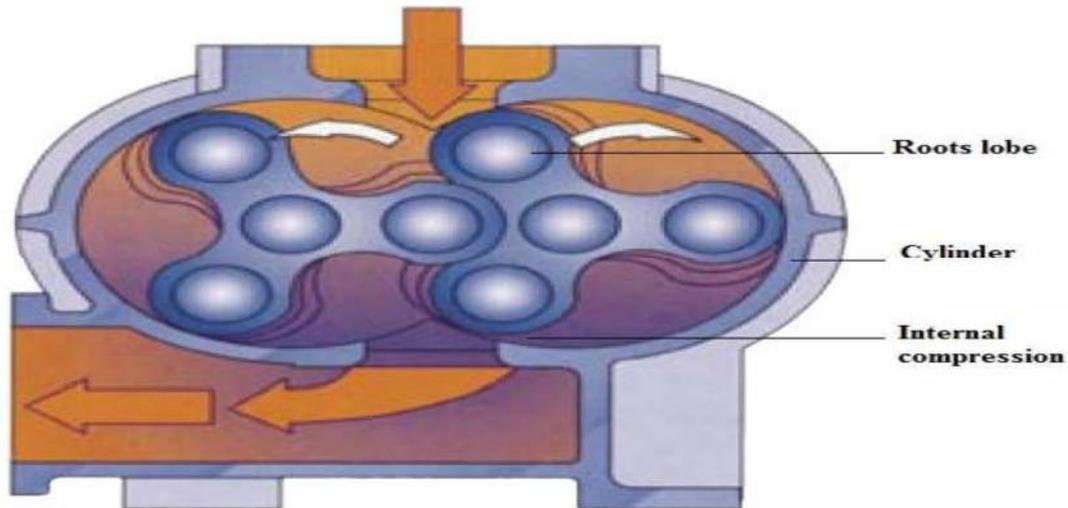


Figure I.9 : Compresseurs rotatifs à lobe.

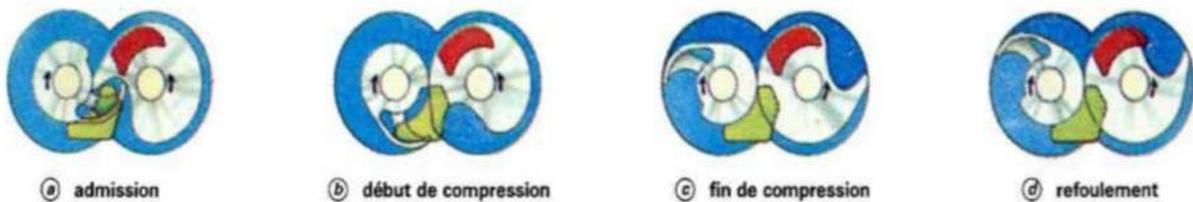


Figure I.10 : principe de fonctionnement de compresseurs à lobe.

B/-Compresseurs rotatifs spiral

Le compresseur rotatif à spirale est composé de spirales fixes et de spirales mobiles. Il est entraîné par la poulie d'un vilebrequin. Grâce à un arbre excentrique, la spirale mobile se rapproche et s'écarte de la spirale fixe, l'air emprisonné est comprimé dans cet espace et est chassé vers le centre du compresseur (sortie), puis vers le conduit d'admission du moteur.

Dans un compresseur scroll Co-rotatif, les deux centres des volutes sont décalés avec suffisamment de précision pour que les deux spirales s'effleurent. Ces deux spirales sont en rotation autour de leur centre respectif, Elles tournent dans le même sens et à la même vitesse, Le système peut être utilisé soit en compresseur soit en turbine suivant le sens de rotation des volutes, Le volume des poches formées entre les deux spirales varie avec la rotation de celles-ci et entraîne la compression du fluide. (Voire Figure I.11). [3]

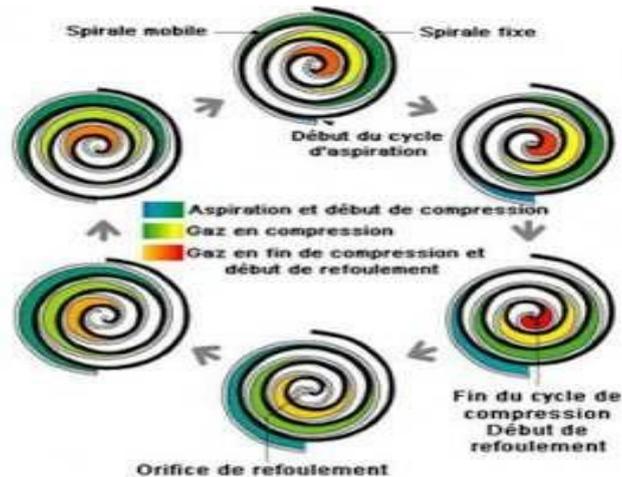


Figure I.11: schéma de cycle de compresseurs à spirales. [3]

C/-Compresseur rotatifs a palettes

Le compresseur à palettes est un compresseur dit à rotation .Il est constitué d'un stator cylindrique dans lequel tourne un rotor excentré. Ce dernier est muni de rainures radiales dans lesquelles coulisent des palettes qui sont constamment plaquées contre la paroi du stator par la force centrifuge.

Dans un cylindre et autour d'un axe excentré tourne un rotor tangent au cylindre et pourvu de palettes radiales qui coulisent librement dans leur logement et sont constamment appliquées sur la paroi par la force centrifuge. [5]

Le volume compris entre deux palettes consécutives est variable. On distingue trois phases comme indiqué ci-dessous :

L'aspiration : le volume de la cellule de compression est compris, entre deux palettes consécutives, immédiatement après la génératrice de contact se remplit de gaz et augmente progressivement pendant la rotation d'une valeur nulle jusqu'à un maximum.

La compression : le volume de cellule de compression compris entre les deux palettes décroît régulièrement et provoque la compression du gaz.

Le refoulement : la cellule de compression se présente devant les lumières de refoulement, le gaz comprimé s'échappe dans le collecteur de sortie.

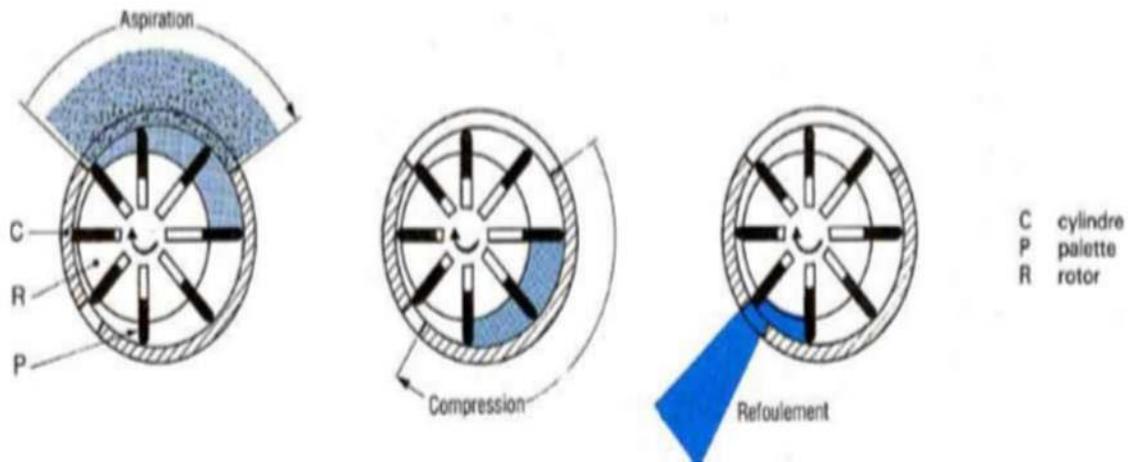


Figure I.12: schéma de cycle de compresseurs à palette.

I.6. Compresseur rotatifs a vis

Comme indiqué ci-dessous, Les compresseurs rotatifs à vis connaissent une certaine popularité et ont conquis une part intéressante du marché (par rapport aux compresseurs à pistons). Ils sont les plus répandus pour des puissances comprises entre 5 et 900 HP. Le type le plus courant de compresseur rotatif est le compresseur à vis à deux rotors hélicoïdaux. Deux rotors accouplés sont engrainés ensemble, emprisonnant l'air et réduisant son volume le long des rotors. Selon les exigences de pureté de l'air, les compresseurs rotatifs à vis sont du type lubrifié ou sec (sans huile).

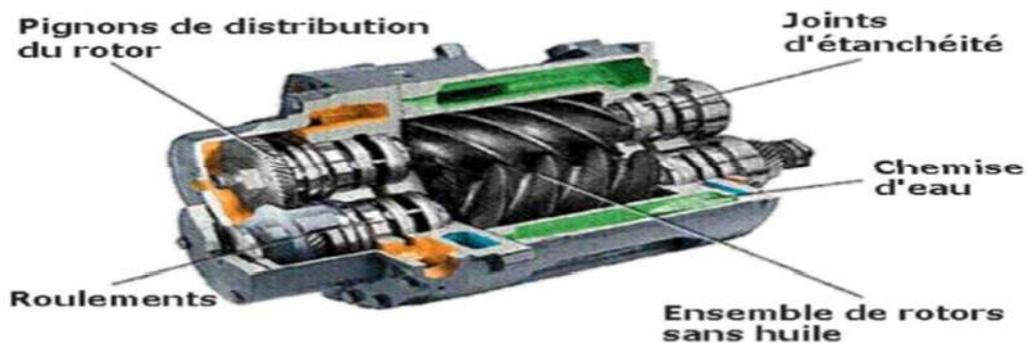


Figure I.13 : Coupe d'un compresseur rotatif à vis (avec la permission d'Atlas Copco).

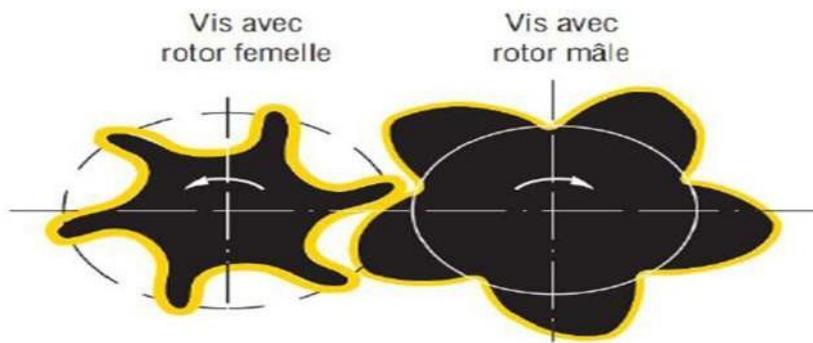


Figure I.14 : vis de compresseur.

I.6.1. Les composants du compresseur à vis

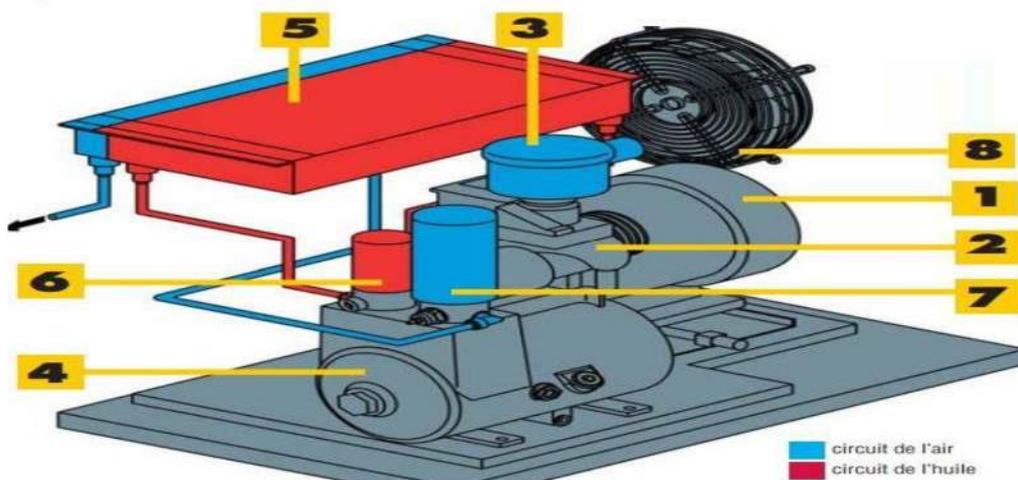


Figure I.15 : composants du compresseur à vis. [6]

- 1-Moteur électrique 2-Bloc à vis 3-Filtre à air
- 4-Réservoir -Séparateur 5-Radiateur 6-Filtre à huile
- 7-Filtre-Séparateur 8-Ventilateur

I.6.2. Classification principale de compresseur rotatif à vis

A/- compresseur mono-vis

Comme indiqué ci-dessous Figure (I.16), le compresseur à vis mono-rotor ou simple vis est constitué d'un rotor principal (vis sans fin) avec des cannelures hélicoïdales et deux satellites. Les deux satellites sont recouverts d'une matière du type téflon et sont disposés de chaque côté du rotor principal, de l'huile est injectée sur la vis pour parfaire l'étanchéité (vis, satellites). Quand la vis tourne, le fluide remplit les canaux de la vis puis les satellites réduisent le volume dans ces cannelures le travail de la compression s'effectue alors dans la partie supérieure du compresseur pour un satellite et simultanément un processus analogue s'opère du côté du

deuxième satellite, mais dans la partie inférieure du compresseur. Le gaz est refoulé ensuite par des orifices de part et d'autre des satellites.

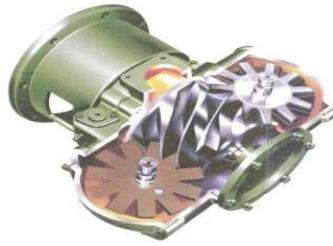


Figure I.16 : schéma de compresseur mono vis.

B/-Compresseur à double vis

Tout d'abord, le compresseur à injection se distingue d'une véritable vis sèche en ce qu'il dispose d'un système diesel ou d'un autre système liquide. Le concept du compresseur à jet de liquide consiste à sceller mécaniquement la chambre de compression à une extrémité et le roulement à l'autre extrémité, l'engrenage synchrone, etc., mais le joint mécanique est une pièce usée et le fluide fuira vers le l'autre extrémité du roulement, l'engrenage synchrone et autres après l'usure. Si un joint de gaz sec est utilisé, le nombre de joints est grand et la consommation de gaz de joint est grande. [6]



Figure I.17 : schéma de compresseur double vis.

I.6.3. Classification par mode d'emploi

A/-Compresseur rotatif à vis à injection d'huile:

Le compresseur rotatif à vis à injection d'huile constitue le type le plus répandu de compresseur industriel pour de nombreuses applications. Le lubrifiant employé dans ce type de compresseurs peut être soit à base d'hydrocarbures, soit un produit synthétique. En principe, la sortie d'air comprend un mélange d'air comprimé et de lubrifiant injecté et passe par un carter dans lequel le lubrifiant est extrait de l'air comprimé. Des changements de direction et de vitesse permettent de séparer la plus grande partie du liquide. Les aérosols résiduels dans l'air comprimé sont alors séparés dans un élément de séparation situé à l'intérieur du carter et il ne subsiste dans l'air comprimé que quelques parties par million (ppm) de lubrifiant.

Dans le cas des compresseurs à deux étages, le refroidissement entre étages et les pertes internes minimales en raison de la pression plus faible dans chaque étage, augmentent l'efficacité du

Processus de compression. Par suite, la compression de l'air à la pression finale demande moins d'énergie.

B/-Compresseur rotatif à vis sec

Dans ce type de compresseur exempt d'huile, les rotors engrenant ne sont pas en contact, des engrenages de synchronisation extérieurs maintenant le jeu qui les sépare dans des tolérances très faibles. Dans la plupart des modèles, on emploie deux étages de compression avec refroidisseur intermédiaire et refroidisseur de sortie. Les compresseurs rotatifs à vis exempts d'huile existent dans une gamme de 25 à 1200 HP.

I.7. Domaine d'application du compresseur d'air à vis

Les compresseurs à vis, largement utilisés dans les domaines de la réfrigération, de la climatisation, de la congélation et du stockage des aliments, du refroidissement dans les mines, des pompes à chaleur, etc. , propane, compression de gaz tels que l'éthane, le méthane, les gaz d'hydrocarbures contenant du sulfure d'hydrogène, l'hydrogène, les gaz de pétrole liquéfiés, l'oxyde d'éthylène et l'ammoniac. Les compresseurs à vis sans huile (secs) conviennent à la compression de gaz non contaminés par l'huile; Les compresseurs à vis humides ont de nombreuses applications dans la production de produits chimiques, principalement pour les compresseurs d'air de puissance généraux et les compresseurs de réfrigération. Le compresseur à vis Tong an convient également au travail mobile en extérieur et fait partie des machines de base. [7]

I.8. Principe de fonctionnement

Le système de fonctionnement du compresseur à vis a été développé dans les années 1930. Il se résume en la rotation en sens opposé de deux éléments vis qui permet la création continue d'air comprimé. Le premier élément mâle est entraîné par un moteur qui entraîne lui-même l'élément vis femelle

Le compresseur à vis comprime l'air dans un espace formé entre deux vis rotatives tournant en sens opposé. Avec le carter du compresseur d'air qui les entoure, ces vis forment l'entraînement à vis. Le fonctionnement d'un compresseur à vis repose essentiellement sur deux principes : l'injection liquide ou non ces deux versions existent en deux modèles.

Dans un compresseur à vis à injection de liquide, l'air comprimé est refroidi par un liquide de refroidissement dans la chambre de compression entre les vis. Le fluide de refroidissement, généralement de l'huile, circule dans un circuit fermé entre (1) les réservoirs de liquide, (2) les refroidisseurs et (3) les unités de vis. Il est mélangé à l'air avant compression. La température de fonctionnement du compresseur est par conséquent maintenue à environ 80 °C, indépendamment de la charge et de la pression. Immédiatement après la compression, le fluide de refroidissement est séparé de l'air comprimé dans (4) le séparateur d'huile. L'air comprimé circule ensuite dans un (5) refroidisseur final avant d'être acheminé vers le réservoir d'air. [6]

Chapitre I : généralités sur les compresseurs

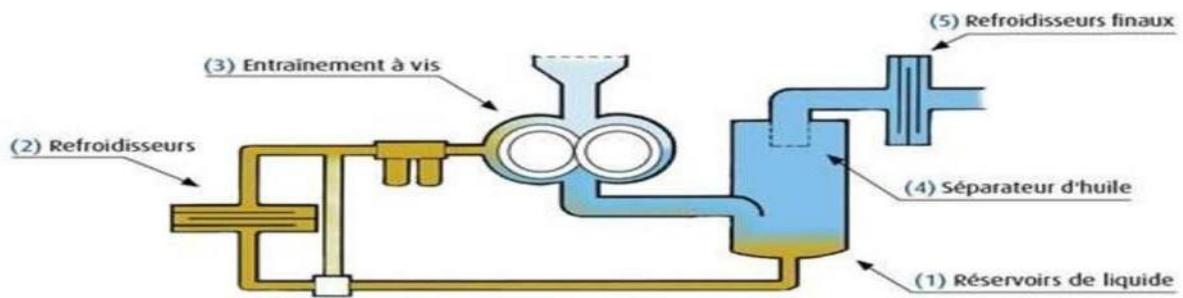


Figure I.18 : principe de fonctionnement.

Voici une démonstration détaillée sur ce qui se passe au niveau du compresseur à vis

Admission : L'air entre par l'orifice de prise d'air au même temps les pas des deux vis du rotor sont ouverts du côté de l'aspiration.

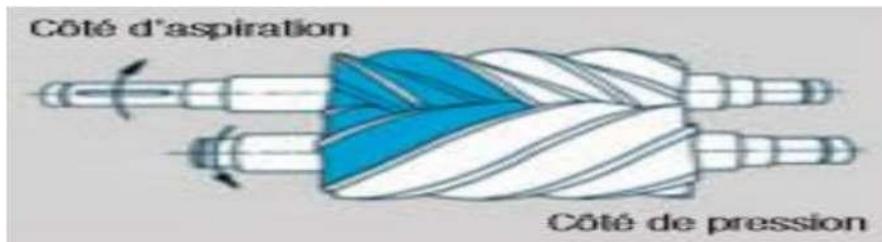


Figure I.19 : admission.

Compression : La rotation progressive des deux vis verrouille l'orifice de prise d'air donc le volume des chambres se réduit ce qui donne l'augmentation de la pression, au même temps l'huile est injecté pour lubrifier les vis afin de diminuer la température des vis à cause des frottements.

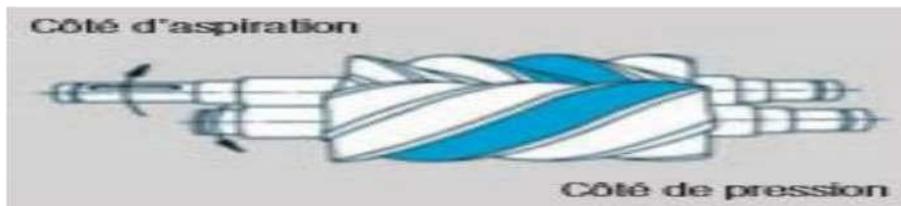


Figure I.20 : Compression.

Extraction : La compression est terminée et on obtient un mélange air huile à température élevée.

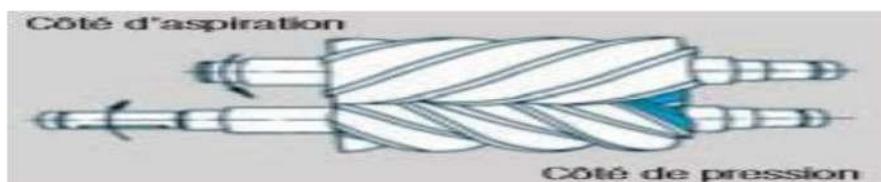


Figure I.21: Extraction.

Chapitre I : généralités sur les compresseurs

Dans le cas des compresseurs ou le vis en contact avec l'huile on doit utiliser les techniques suivantes afin d'avoir un gaz comprimé sec

Séparation : Le mélange air h1 huile subi une séparation par gravité dans le séparateur puisque l'huile est plus lourde se dépose au fond puis passe vers le radiateur pour qu'il soit refroidie et filtré puis injecté à nouveau dans le bloc de la vis pour la lubrification (recyclage de l'huile), l'air humide aussi filtré passe vers le radiateur pour le refroidissement puis il subit une filtration.

Sèchement : Le système de sèchement contient un système de refroidissement et condensation dont on trouve :

- Chambre de sèchement où il y a de l'air comprime humide.
 - Système de refroidissement (1.5°C) qui passe à travers la chambre pour la condensation.
- Comme indiqué ci-dessous :

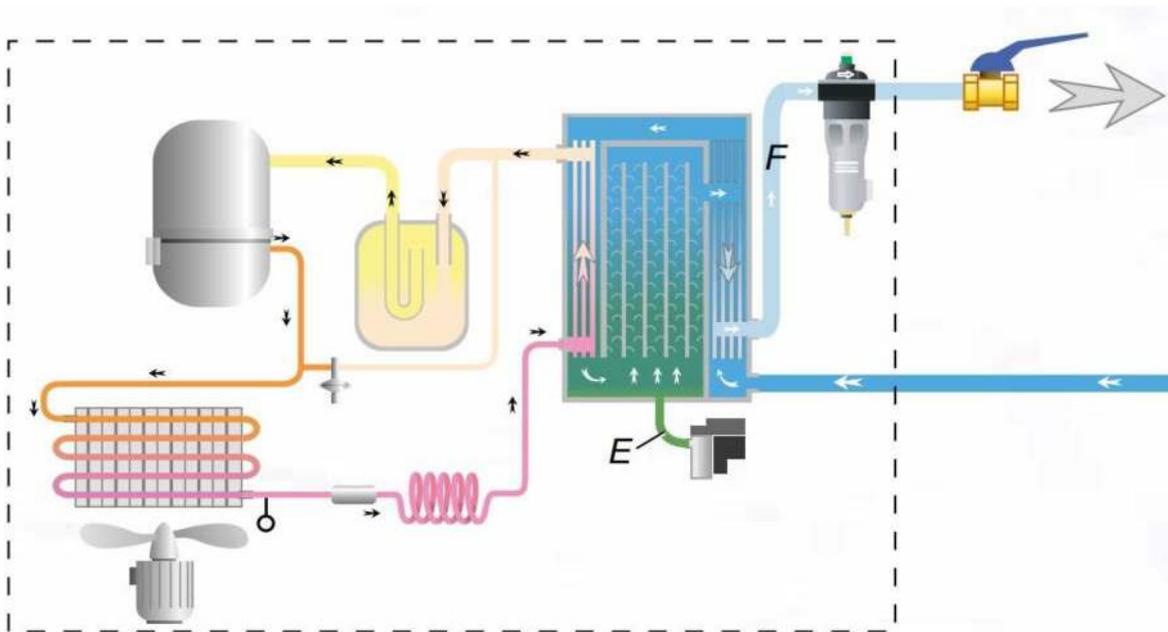


Figure I.22 : Cycle de fonctionnement du sécheur.

I.9. Types des compresseurs en fonction de débit et de la pression

Comme indiqué ci-dessous :

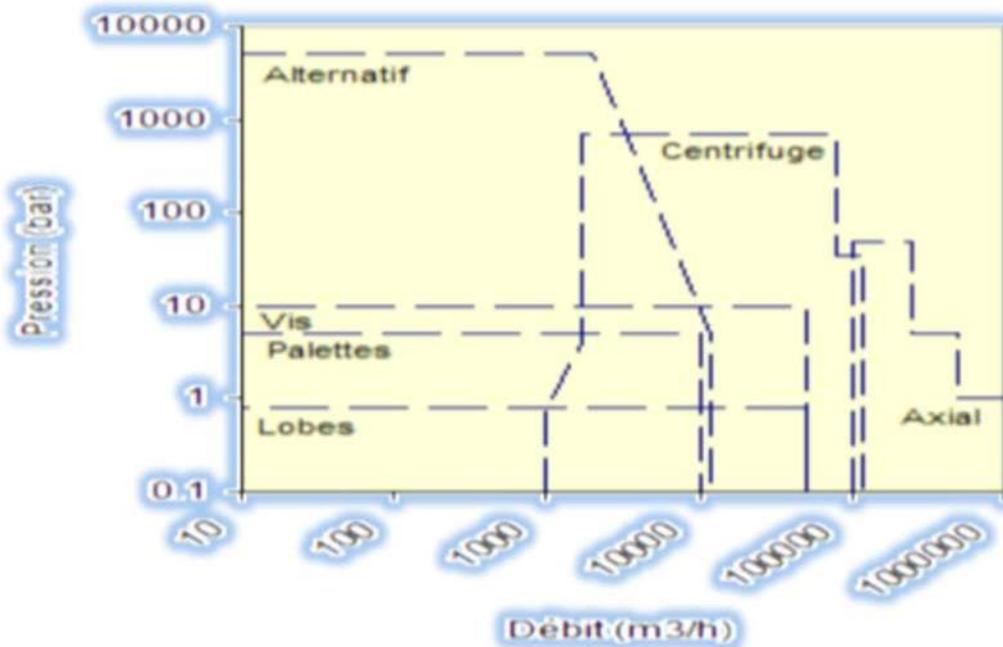


Figure I.23: type de compresseur en fonction de débit et de la pression. [2]

I.10. Vision générale du compresseur à vis

Le système du compresseur à vis est constitué par quatre éléments essentiels à savoir:

- un réservoir ;
- un refroidisseur ;
- un séparateur ;
- un filtre.

I.11. Avantages et inconvénients du compresseur à vis

Le compresseur à vis a plusieurs avantages à titre exemple il permet des débits importants et continu sans pulsation, facile à installer, peu bruyant et très fiable.

En revanche ce compresseur a un taux de compression limité il ne dépasse pas en sortie une pression de 15 bars.

Conclusion

Dans ce chapitre on a exprimé les notions de bases rencontrées dans le domaine de turbomachine, les différents types des compresseurs.

Aussi on a donné un bref historique sur les compresseurs à vis, et leur domaine d'utilisation.

Le compresseur à vis fonctionne selon trois principes l'aspiration, la compression et l'évacuation

Le développement des compresseurs a été toujours selon les besoins et selon le domaine d'utilisation

CHAPITRE II
QUANTIFICATION FMD

II .Introduction

Une installation de production nécessitant un ensemble de moyens matériels et humains n'est en mesure d'assurer le service qu'on lui demande qu'après avoir surmonté diverses contraintes, dont la maintenance des équipements de production utilisés. Construire une usine ou un atelier ne sert à rien en l'absence de production significative, ou de personnel qualifié, ou d'un système d'organisation permettant le maintien en état des installations. La maintenance joue un rôle de plus en plus important dans la productivité de l'entreprise. [8]

La sûreté de fonctionnement est l'aptitude d'une entité à satisfaire une ou plusieurs fonctions requises dans des conditions données. La sûreté de fonctionnement se caractérise généralement par les paramètres suivants:

La fiabilité, La disponibilité, La maintenabilité, La sécurité.

II .1.Généralité sur les méthodes d'analyse FMD

II.1.1.Arborescence et caractéristiques FMD d'un système réparable

II.1.1.1.Les trois niveaux de l'arborescence concernés par FMD

Les équipements industriels inventoriés sont tous des systèmes réputés « réparables » et à ce titre, pris en responsabilité par la maintenance. Les trois niveaux de caractérisation FMD d'un équipement sont regroupés au tableau ce dessous :

Tableau II.1 : Niveau de caractérisation FMD d'un équipement. [9]

	Propriétés	Caractéristique FMD
Ensemble	Toujours réparable	Disponibilité
Module	Réparable ou consommable	Maintenabilité et fiabilité
composant	Consommable, parfois réparable	Fiabilité

II.2.Analyses FMD - indicateurs opérationnels

II.2.1.temps de fiabilité, maintenabilité et disponibilité

La figure II.1 schématise les états successifs que peut prendre un système réparable.

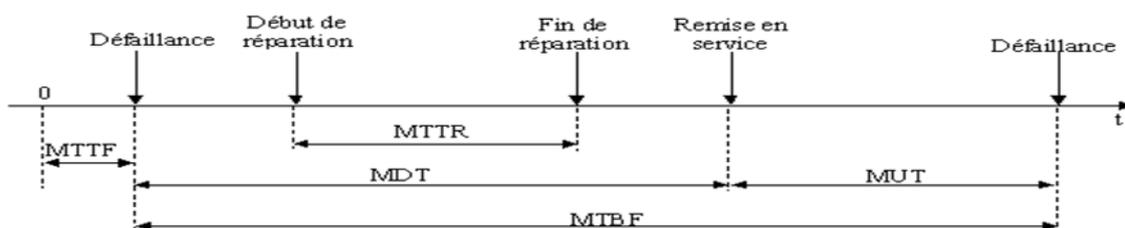


Figure II.1 : Les durées caractéristiques de FMD. [6]

En fait, les grandeurs portées par la figure sont des durées (TBF) auxquelles on fait correspondre des moyennes (MTBF) obtenues par exploitation statistique $m(t)$ ou probabiliste

Chapitre II : Quantification FMD

$E(t)$ des n durées constatées et enregistrées. Les sigles utilisés sont d'origine anglo-saxonne et correspondent aux notions suivantes :

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

Utilisation

Dans cette analyse, le système ne peut prendre que deux états : 0 = il n'est pas opérationnel, ou indisponible ; 1 = il est opérationnel, ou disponible. Des analyses plus fines et plus complexes permettent d'intégrer un état intermédiaire nommé « mode dégradé », très utilisé en sûreté de fonctionnement. En maintenance, le choix d'un seuil d'admissibilité « s » permet de basculer de 1 à 0 face à une dégradation. MTTF est utilisée dans les systèmes « mono coup » ou non réparables. Dans ce cas : $MTTF = MTBF$. Dans les systèmes réparables, MTTF est un indicateur de qualité. Le premier TTF est à intégrer à la collecte des TBF. Nous proposons d'utiliser MTA (moyenne des temps d'arrêt) pour les temps d'arrêt relevés sous ce nom par la production. Et d'utiliser MTI (moyenne des temps d'indisponibilité propre) plutôt que MDT pour les temps d'arrêt de production imputable à la maintenance, l'équipement étant requis. MTI est important en gestion de la maintenance, puisque c'est le temps qu'il faut relever pour estimer les coûts indirects d'indisponibilité. Un cas fréquent se produit lorsque la $MTI = MDT \ll MUT$, il y a quasi-identité entre MUT et MTBF.

Par exemple : 15 minutes d'indisponibilité moyenne tous les trois mois. Notons que la francisation « moyenne des temps de bon fonctionnement » s'applique mieux, en toute rigueur, à la MUT qu'à la MTBF. La nature des MTBF et des MTTR est très différente : les TBF sont des temps d'activité machine, les TTR sont des temps d'activité humaine. [9]

II.3.Indicateurs de FMD

Chacun des concepts FMD est défini rigoureusement par une probabilité $F(t)$, $M(t)$ et $D(t)$ quantifiable que nous étudierons dans chacun des chapitres qui leur est consacré. Des indicateurs (ou estimateurs, en statistique) permettent une évaluation opérationnelle de ces grandeurs à partir de paramètres simples relevés sur site. Ils seront plus ou moins rigoureux, donc plus ou moins significatifs. [12]

II.3.1. Indicateurs de fiabilité

Ils sont classés ici du plus approximatif vers le plus rigoureux.

N : nombre de pannes : « ma voiture est souvent en panne, donc elle n'est pas fiable.

λ : taux de défaillance moyen, exprimé en pannes/unité d'usage. Il est souvent supposé constant (hypothèse exponentielle dont la validité est toujours à vérifier). Dans ce cas, cet indicateur donne lieu à des analyses de fiabilité simples,

MTTF : moyenne des temps de bon fonctionnement jusqu'à la première défaillance, dont la date d'arrivée est peu significative de la suite.

MTBF calculée à partir d'une moyenne statistique d'un échantillon de n durées TBF.

R(t) : fonction fiabilité (R vient de l'anglais reliability). C'est la fiabilité « stricte » définie comme la probabilité de bon fonctionnement d'un système à l'instant t, déterminée comme précédemment à partir d'un modèle probabiliste ajusté à un échantillon.

MTBF calculée à partir de l'espérance mathématique de la variable aléatoire TBF en utilisant une loi de probabilité R(t) ajustée à un échantillon de n valeurs de TBF relevées.

$\lambda(t)$: fonction taux de défaillance. Déduite de la fonction R(t), c'est un bon indicateur du comportement d'un système.

Dans tous les cas, le niveau de signification de l'indicateur dépendra de deux facteurs initiaux la taille N de l'échantillon collecté (d'où l'intérêt de regrouper des retours d'expérience comparables).

II.3.2. Indicateurs de maintenabilité [10]

MTTR est l'indicateur de maintenabilité. Elle peut être obtenue par la moyenne statistique d'un échantillon de n valeurs TTR ou par l'espérance mathématique de la variable TTR obtenue à partir d'un modèle probabiliste. Notons que la durée d'intervention TTR n'est pas une donnée facile à acquérir, M(t) est la maintenabilité stricte. C'est la probabilité associée à un instant T d'une remise en état de fonctionnement. Elle est déterminée à partir d'un modèle probabiliste.

$$\text{MTTR} = \text{Somme des temps de réparation} / \text{Nombre de réparations}$$

μ : représente le taux de réparation, si (μ) est constant au cours du temps alors :

$$\mu = 1 / \text{MTTR}$$

II.3.3. Indicateurs de disponibilité

L'indicateur de base de la disponibilité opérationnelle est :

$$D_{op} = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR}) < 1$$

Mais bien d'autres indicateurs peuvent être imaginés, plus ou moins rigoureux et choisis en fonction des données existantes.

Quelques exemples : $(TO - TA) / TO$ avec TO = temps d'ouverture et TA le cumul des temps d'arrêt, ou des temps d'arrêt imputés à la seule maintenance ;

Chapitre II : Quantification FMD

MTBF-MTTR est un indicateur de disponibilité propre, MUT est un indicateur de disponibilité effective ;

MTI est un indicateur d'indisponibilité propre.

Remarque :

Disponibilité intrinsèque (D_i)

Définition : La disponibilité intrinsèque (D_i) est égale à la disponibilité précédente (D) en Excluant la maintenance préventive et les délais logistiques. [11]

II.4. Tableau de synthèse des analyses FMD

Tableau II.2 : les analyses FMD possible.

Arborescence d'un système	Caractéristique	Analyses correspondantes		
		R(t)	M(t)	D(t)
Ensemble	Réparable	MTBF	MTTR	Dop
	Non réparable (mono coup)	MTTF	×	×
Module interchangeable	Réparable	MTBF	MTTR	×
	Consommable	MTTF	×	×
Composant	Consommable	MTTF	×	×

II .5.LA FIABILITE

II.5.1. Définition de la fiabilité

C'est aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise dans des conditions données, pendant une durée donnée. [13]

II.5.2. Objectifs de la fiabilité

La fiabilité a pour objectif de :

- Déchiffrer une durée de vie ;
- Evaluer avec précision un temps de fonctionnement ;
- Déterminer la stratégie de l'entretien ;
- Choisir le stock. [12]

II.5.3. Les Principales lois de probabilité utilisées en fiabilité

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

- La loi exponentielle ;
- La loi de WEIBULL ;
- La loi normale ;
- La loi log-normale (ou loi de GALTON) ;

- La loi de POISSON ou loi de faibles probabilités.

II.5.3.1. Modèle de WEI BULL

C'est la plus populaire des lois, utilisées dans plusieurs domaines (électronique, mécanique,...). Elle permet de modéliser en particulier de nombreuses situations d'usure de matériel. Elle permet de caractériser le comportement du système dans les trois phases de vie, période de jeunesse, période de vie utile et période d'usure ou vieillissement. Dans sa forme la plus générale, la distribution de Wei bull dépend des trois paramètres suivants : β , γ et η . [11]

II.5.3.2. Les paramètres de Modèle de WEIBULL

La densité de probabilité :

La densité de probabilité d'une loi de Wei bull a pour expression [14] :

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

Ou :

β est le paramètre de forme ($\beta > 0$)

η est le paramètre de d'échelle ($\eta > 0$)

γ est le paramètre de position ($-\infty \leq \gamma \leq +\infty$)

La fonction de répartition :

La fonction de répartition s'écrit :

$$F(t) = 1 - e - \left(\frac{t-\gamma}{\lambda}\right)^{\beta} \quad \text{II.2}$$

La fonction de fiabilité R(t) :

La fonction de fiabilité s'écrit :

$$R(t) = e \left(\frac{t-\gamma}{\lambda}\right)^{\beta} \quad \text{II.3}$$

II.5.3.3. Courbe de baignoire

La figure schématisé suivante la courbe de baignoire

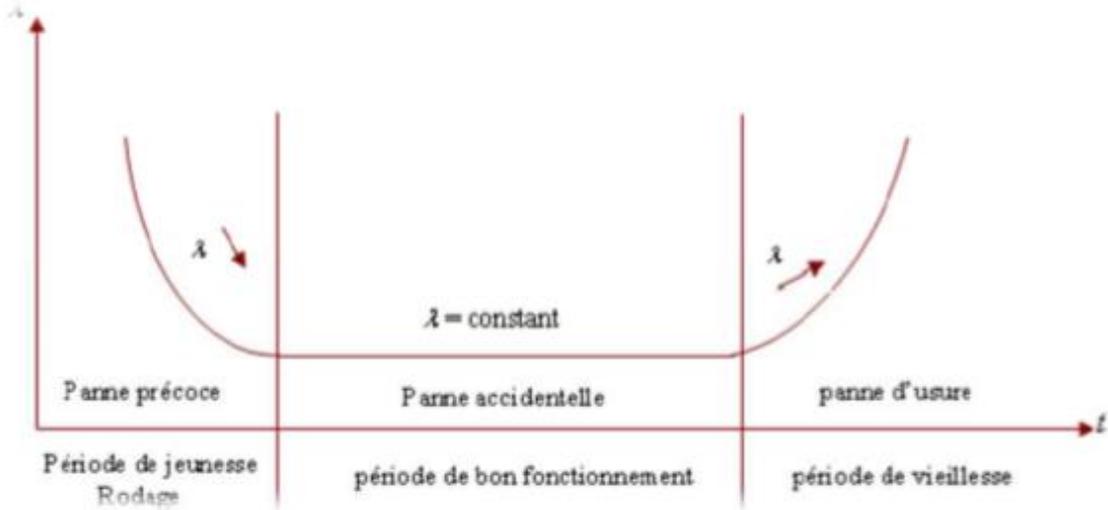


Figure II.2.courbe de baignoire

Paramètre de forme β

Comme indiquer ci- dessous :

Si $\beta > 1$, le taux de défaillance est croissant, caractéristique de la zone de vieillesse

- $1,5 < \beta < 2,5$: fatigue

- $3 < \beta < 4$: usure, corrosion

Si $\beta = 1$, le taux de défaillance est constant, caractéristique de la zone de maturité.

Si $\beta < 1$, le taux de défaillance est décroissant, caractéristique de la zone de jeunesse.

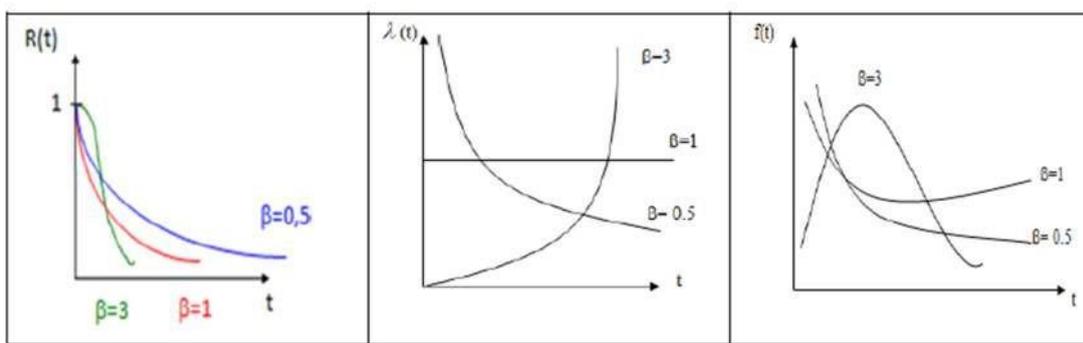


Figure II.3. Variation de forme (β).

II.5.3.4. Domaine d'application :

La distribution de Wei bull est souvent utilisée dans le domaine de l'analyse de la durée de vie, grâce à sa flexibilité car elle permet de représenter au moins approximativement une infinité de lois de probabilité.

Un taux de panne croissant suggère une "usure ou un problème de fiabilité" : les éléments ont

de plus en plus de chances de tomber en panne quand le temps passe. [15]

II.5.3.5. Papier de Wei bull

Ce papier de Wei bull sert à lire graphiquement les paramètres d'une loi de Wei bull dans le cas où le paramètre γ est nul.

En effet, la fonction de répartition associée à une loi de Wei bull de paramètres $\beta, \gamma = 0, \eta$ est définie par :

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

Le paramètre se lit directement à l'intersection de la droite précédente avec l'axe des abscisses puisque celui-ci est gradué en échelle logarithmique.

II.5.3.6. Echelles utilisées sur le papier de Wei bull

Abscisse haute : échelle naturelle en X ;

Abscisse intermédiaire : échelle logarithmique (lecture du paramètre t) ;

Abscisse basse : échelle logarithmique (on fait correspondre à chaque valeur de t son logarithme népérien $\ln t$) ;

Ordonnée gauche : on place les valeurs de F (t) en pourcentage en échelle $\ln(-\ln(1 - F(t)))$;

Ordonnée sur l'axe X = -1 (lecture du paramètre) : ce sont les valeurs $\ln(-\ln(1 - F(t)))$;

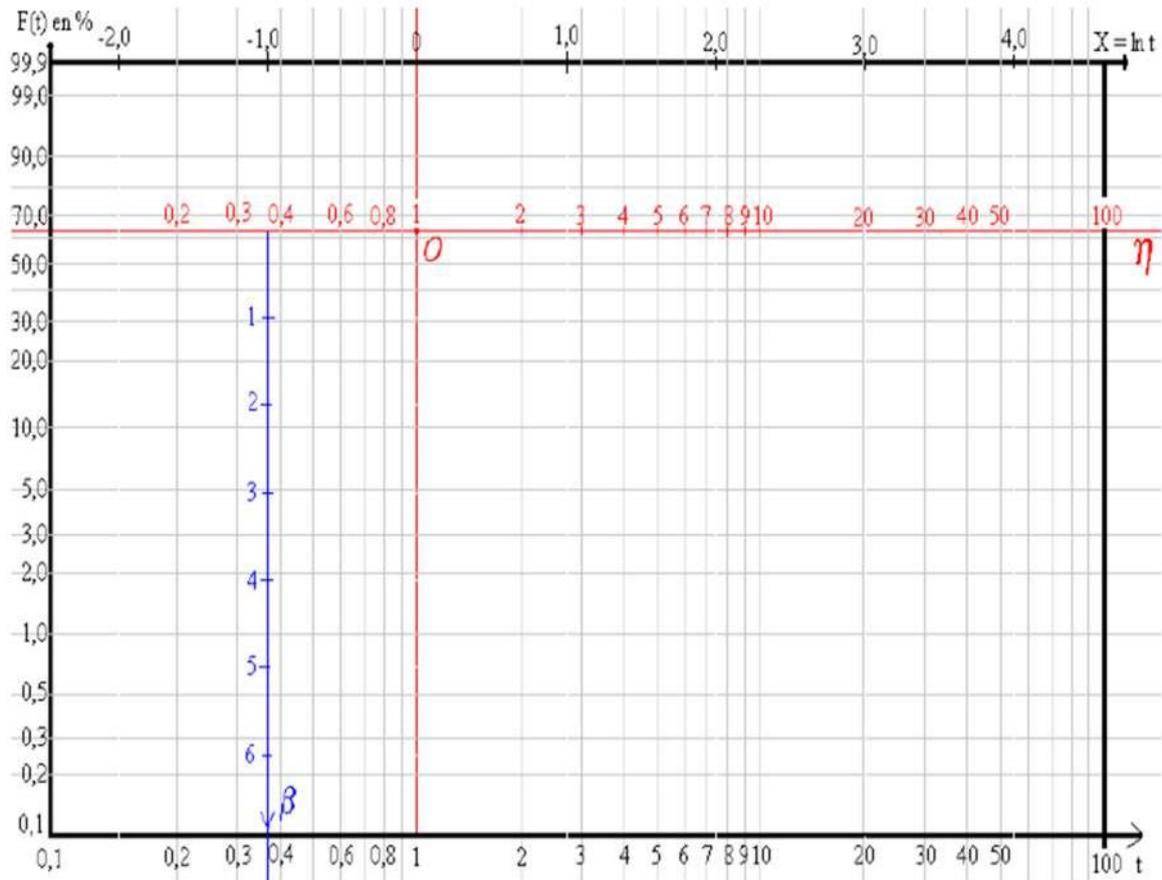


Figure II.4 : Papier de Weibull. [15]

II.5.4. La loi exponentielle

En raison des applications multiples de cette loi qui n'est autre qu'un cas particulier de la loi de Weibull, on présentera dans ce qui suit un large développement de cette loi avec plusieurs applications.

Nous allons étudier des phénomènes physiques où la durée de vie est l'intervalle de temps écoulé entre l'instant de la mise en fonctionnement ou de la naissance, et l'instant de la première panne ou de la mort.

La plupart des phénomènes naturels sont soumis au processus de vieillissement. Il existe des phénomènes où il n'y a pas de vieillissement ou d'usure. Il s'agit en général de phénomènes accidentels. Pour ces phénomènes, la probabilité, pour un objet d'être encore en vie ou de ne pas tomber en panne avant un délai donné sachant que l'objet est en bon état à un instant t , ne dépend pas de t . Par exemple, pour un verre en cristal, la probabilité d'être cassé dans les cinq ans ne dépend pas de sa date de fabrication ou de son âge. Par définition, on dit qu'une durée de vie est sans usure si la probabilité de survie à l'instant t ne dépend pas de t . [15]

Hypothèses :

- Le taux de défaillance $\lambda(t)$ est indépendant de l'âge du système.
- Pour le système qui opère sur demande, la panne à la nième demande est indépendante de celles à la n-1 demande.
- Pour le système opérant en continu, ceci représente un $\lambda(t)$ constant

Les distributions relatives à cette loi sont représentées par les courbes de la figure en fonction du taux de défaillance d'un ou plusieurs composants supposés avoir un même λ

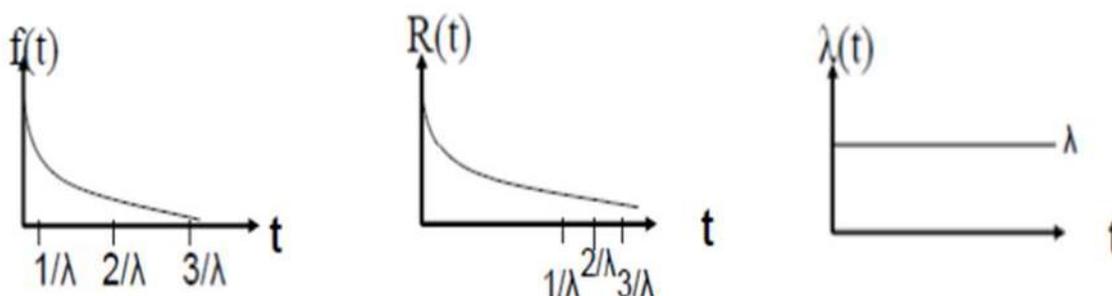


Figure II.5 : Distribution des fonctions de la loi exponentielle. [16]

II.5.5. La loi normale :

Cette loi est aussi appelée loi de Gauss, en l'honneur du grand mathématicien allemand Karl Friedrich Gauss (1777-1855).

La loi normale est la loi statistique la plus répandue et la plus utile, elle est utilisée afin d'approcher des probabilités associées à des variables aléatoires binomiales possédant un paramètre 'n' très grand. Elle représente beaucoup de phénomènes aléatoires. De plus, de nombreuses autres lois statistiques peuvent être approchées par la loi normale, tout spécialement dans le cas des grands échantillons.

Sa fonction de fiabilité est : $n(t) = \frac{n}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t-\mu}{\sigma}}$

Avec les paramètres de signification :

μ : est la moyenne ;

σ : l'écart type ;

n : le nombre total d'individus dans l'échantillon ;

n(x) : le nombre d'individus pour lesquels la grandeur analysée a la valeur x ;

e : est la base de l'exponentielle.

II.5.6. La loi log normal

On a pu voir que les valeurs possibles d'une variable aléatoire normale étaient l'ensemble des nombres réels. Pour une situation réelle ne pouvant prendre des Valeurs négatives, on peut malgré tout utiliser une loi normale lorsque la Moyenne et l'écart type sont tels que la probabilité théorique d'avoir une valeur Négative est à toute fin pratique nulle.

En probabilité et statistique, une variable aléatoire X est dite suivre une loi log-normale de paramètres μ et σ si la variable $Y=\ln(X)$ suit une loi normale de paramètres μ et σ .

Une variable peut être modélisée par une loi log-normale si elle est le résultat de la multiplication d'un grand nombre de petits facteurs indépendants.

Sa fonction de probabilité est:

$$n(t) = \frac{n}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\log(t)-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad \text{II. 4}$$

Avec les paramètres de signification

σ : l'écart type ;

μ : c'est la moyenne.

II.5.7. Loi de Poisson

Une variable aléatoire x suit une loi de « Poisson » si elle peut prendre les valeurs entières 0, 1, 2, 3.....n. La probabilité pour que x soit égal à k est :

$$p(x = n) = e^{-\lambda} \cdot \frac{\lambda^n}{n!} \quad \text{II.5}$$

λ : paramètre de la loi (constante positive).

II.6. MAINTEBALITE

II.6.1. Définition de la maintenabilité

C'est aptitude d'une entité à être maintenue ou rétablie dans un état dans Lequel elle peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits. [18]

A partir de ces définitions, on distingue :

La maintenabilité intrinsèque : elle est « construite » dès la phase de conception à partir d'un cahier des charges prenant en compte les critères de maintenabilité (modularité, accessibilité, etc.).

Chapitre II : Quantification FMD

La maintenabilité prévisionnelle : elle est également « construite », mais à partir de l'objectif de disponibilité.

La maintenabilité opérationnelle : elle sera mesurée à partir des historiques d'interventions.

L'analyse de maintenabilité permettra d'estimer la MTTR ainsi que les lois probabilistes de maintenabilité (sur les mêmes modèles que la fiabilité).

II.6.2.. Objectifs de la maintenabilité

- Exprime la capacité d'un système à être simplement et rapidement réparé ;
- Diminuer les temps et les coûts d'intervention ;
- Permet de réduire la durée des pannes ;

II.6.3. Les facteurs de maintenabilité

La maintenabilité caractérise la facilité à remettre ou de maintenir un bien en bon état de fonctionnement. Cette notion ne peut s'appliquer qu'à du matériel maintenable, donc réparable.

« Les moyens prescrits » englobent des notions très diverses : moyens en personnel, appareillages, outillages, etc.

La maintenabilité d'un équipement dépend de nombreux facteurs :

Tableau II.3 : Les facteurs de maintenabilité. [18]

Facteurs liés à la MAINTENANCE	Facteurs liés au CONSTRUCTEUR
<ul style="list-style-type: none">- documentation- aptitude au démontage- facilité d'utilisation préparation et formation des personnels <ul style="list-style-type: none">- moyens adéquats- études d'améliorations (maintenance amélioratives)	<ul style="list-style-type: none">- conception- qualité du service après-vente- facilité d'obtention des pièces de rechange- coût des pièces de rechange

Remarque :

On peut améliorer la maintenabilité en :

- Développant les documents d'aide à l'intervention
- Améliorant l'aptitude de la machine au démontage (modifications risquant de coûter cher)
- Améliorant l'interchangeabilité des pièces et sous ensemble.

II.6.4. Critères de maintenabilité

Accessibilité :

Elle est caractérisée par la rapidité avec laquelle un élément peut être atteint. Elle doit être d'autant mieux maîtrisée que la fréquence probable des opérations de maintenance est grande. C'est le cas des filtres, des graisseurs, des points de réglage, de mesure, de surveillance, etc.

Dans certains cas, l'accessibilité peut être définie sur des bases réglementaires touchant à la sécurité (exemple : échafaudage) ou ergonomiques (dimensions de l'ouverture d'un « trou d'homme » ou d'une trappe de visite).

Déteçtabilité

Elle concerne la réduction des temps de localisation et de diagnostic, principalement pour les PC des équipements. Un logiciel de recherche et de localisation des défauts, les outils d'aide au diagnostic, une supervision, mais aussi un simple voyant ou le repérage des câbles et des points de mesure sont autant d'éléments de réduction des temps d'investigation. La réalisation d'une AMDEC amène le concepteur à évaluer le critère « déteçtabilité » et à proposer des solutions si nécessaire.

Démontabilité :

Elle concerne l'accès plus ou moins facile et plus ou moins rapide à des composants potentiellement « fragiles » et inaccessibles lorsque le sous-ensemble est monté. Elle se caractérise par des manœuvres rapides (portes de visites et capots avec verrous et charnières) demandant un minimum d'outils standards et facilitées par une documentation efficace (perspective éclatée montrant le fractionnement des éléments. [16])

II.6.5. Autres critères de maintenabilité

Tout ce qui peut être intégré à la conception d'un équipement afin de faciliter sa maintenance ultérieure est un critère de maintenabilité. Il en est ainsi pour l'installation de compteurs d'unités d'usage, pour les taraudages permettant la fixation d'un accéléromètre de surveillance vibratoire, pour le repérage visuel des graisseurs, pour la présence d'un anneau d'élingage sur le bâti, etc.

- le soutien logistique accompagnant l'équipement est également un critère de maintenabilité. Quelques exemples :

- la possibilité de dépannage par téléphone (télémaintenance) ;
- la formation des techniciens aux interventions correctives probables ;
- l'obtention rapide de pièces de rechange sans ambiguïté de références ;

La logistique de maintenance est distincte de la maintenabilité. Beaucoup d'éléments de la logistique de maintenance convergent avec les éléments de maintenabilité intrinsèque afin de réduire les temps d'intervention et les coûts d'indisponibilité des équipements industriels. Citons en particulier :

- la qualité de la documentation technique (DTE),
- la disponibilité des rechanges en stock interne,
- l'efficacité des moyens mis à disposition.

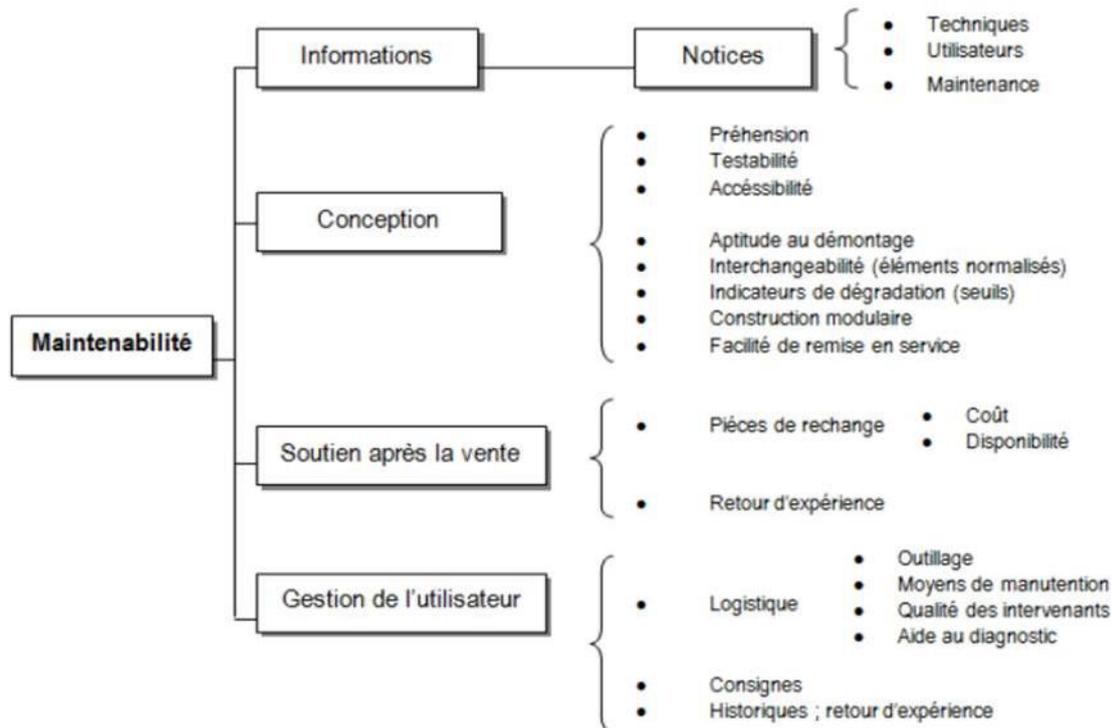


Figure II.6 : Les différents critères de maintenabilité. [17]

Ii.6.6. Analyse de la maintenabilité opérationnelle

Comme pour la fiabilité, les analyses de Maintenabilité opérationnelle se justifient :

Dans le cadre d'une évaluation précise de la disponibilité opérationnelle d'un équipement.

Dans le cadre de la génération de standards de temps en interne afin d'améliorer l'ordonnancement ou de mieux maîtriser certains coûts directs.

Dans le cadre de la rédaction de clauses de maintenabilité quantifiées pour de futurs équipements.

Dans le cadre de la recherche d'amélioration permanente de l'efficacité des actions de maintenance.

Les analyses reposent sur le traitement d'échantillons de N durées d'intervention TTR collectées sur l'historique des interventions relatives à un équipement. Comme pour la fiabilité,

ces données peuvent se rapporter à un système complet ou se limiter aux seules interventions sur un module sensible en particulier.

II.6.7. Approche mathématique de la maintenabilité $m(t)$

La maintenabilité peut se caractériser par sa MTTR (Mean Time To Repair) ou encore Moyenne des Temps Techniques de Réparation.

$$MTTR = \frac{\sum \text{Temps d'intervention pour n pannes}}{\text{nbrs de pannes}}$$

Les N valeurs de l'échantillon des durées d'intervention seront relevées à partir des bons de travaux complétés, puis portés sur l'historique d'un équipement, que ce soit sous une forme « papier » ou « écran ».

L'analyse de maintenabilité peut porter sur l'ensemble de l'équipement (afin de déterminer sa disponibilité opérationnelle le plus souvent), ou sur l'un quelconque de ses modules. C'est ainsi que sont élaborés par exemple les barèmes de temps de réparation automobile.

Il existe une analogie forte entre les notions de fiabilité et de maintenabilité. Les démarches d'analyse sont donc semblables :

La fonction de répartition est notée $M(t)$. Elle exprime la probabilité qu'une intervention ait une durée $TTR < t$, ou que le $M(t) = 1 - e^{-\mu t}$

Système en panne à $t = 0$ soit rétabli à t : $M(t) = g(t) \cdot dt = \text{prob}(TTR < t)$

De façon analogue au taux de défaillance, on définit un taux de réparation $\mu(t)$ tel que :

$$u(t) = \frac{g(t)}{1 - M(t)}$$

Tels que : $E(t) = MTTR = \tau = 1 / u$

II.7.DISPONIBILITE

II.7.1. Définition de la disponibilité

Aptitude à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données et à un instant donné.

II.7.2. Objectifs de la disponibilité

- avoir le moins possible d'arrêts de production ;
- Etre rapidement remis en bon état s'il tombe en panne ;
- Facilité de remise en état.

II.7.3. Les facteurs de disponibilité

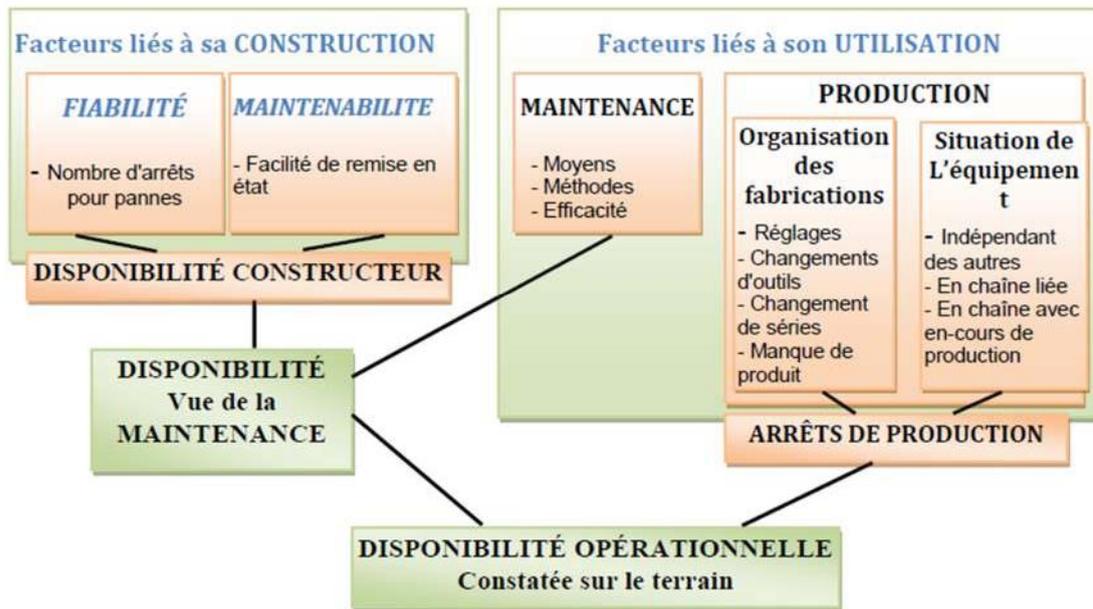


Figure II.7 : Les différents facteurs de disponibilité. [14]

La disponibilité allie donc les notions de fiabilité et de maintenabilité

Augmenter la disponibilité passe par :

- L'allongement de la MTBF (action sur la fiabilité)
- La notion de le MTTR (action sur la maintenance)

II.7.4. Quantification de la disponibilité

La disponibilité peut se mesurer :

- Sur un intervalle de temps donné (disponibilité moyenne),
- À un instant donné (disponibilité instantanée),
- À la limite, si elle existe, de la disponibilité instantanée lorsque $t \rightarrow \infty$ (disponibilité asymptotique).

La disponibilité moyenne sur intervalle de temps donné peut être évaluée par le rapport suivant :

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

OU :

$$D_o = \frac{\text{TCBF}}{\text{TCBF} + \text{TCF}}$$

TCBF = temps cumulé de bon fonctionnement

Disponibilité intrinsèque :

Elle exprime le point de vue du concepteur. Ce dernier a conçu et fabriqué le produit en lui donnant un certain nombre de caractéristiques intrinsèques, c'est à dire des caractéristiques qui prennent en compte les conditions d'installation, d'utilisation, de maintenance et d'environnement, supposées idéales.

Disponibilité opérationnelle :

Il s'agit de prendre en compte les conditions réelles d'exploitation et de maintenance. C'est la disponibilité du point de vue de l'utilisateur.

Le calcul de D_o fait appel aux mêmes paramètres TBF, TTR et TTE sauf que ces 3 paramètres ne sont plus basés sur les conditions idéales de fonctionnement mais sur les conditions réelles (historiques d'exploitation).

II.7.5. Approche mathématique de la disponibilité

II.7.5.1. Modèles d'évaluation de D_{op} [18]

Disponibilité opérationnelle propre :

$$\frac{MTBF}{MTBF + MTI} = \frac{MTBF + RT}{MTBF + MTTR + MTL} = \frac{MTBF}{MTBF + MMT}$$

MTBF : moyenne des temps de bon fonctionnement

MTI : moyenne des temps d'indisponibilité

RT : « ready time » ou temps moyens d'attente, le système étant prêt à fonctionner

MTL : moyenne des temps logistique

$$D_{op} = \frac{T_o - T_{ap}}{T_o} = \frac{T_{Mc.N}}{T_{Mc.N} + T_{ap}} \quad \text{II.6}$$

MTTR : moyenne des temps techniques de réparation

MTBM : temps moyen entre actions de maintenance préventive ou corrective

MMT : temps moyen des actions préventives ou correctives

II.7.5.2 Modélisation de la disponibilité instantanée

On se place dans l'hypothèse exponentielle, avec les taux de défaillance λ et de réparation μ constants et indépendants du temps :

$$\mu = 1/MTTR$$

$$\lambda = 1/MTBF$$

Chapitre II : Quantification FMD

On définit la disponibilité instantanée d'un système réparable par :

$$D(t) = \frac{\mu}{\mu + \lambda} + \frac{\lambda}{\mu + \lambda} e^{-(\mu + \lambda)t} \quad \text{II.7}$$

Disponibilité : $D(t) = P_0(t)$ Probabilité que le système fonctionne = probabilité qu'il y ait 0 défaillance.

Indisponibilité : $I(t) = 1 - D(t) = P_1(t)$ + Probabilité de non fonctionnement = probabilité qu'il y ait une défaillance. [18]

La qualité initiale du système garantit que : $P_0(0) = 1$ que $P_1(0) = 0$.

Par complémentarité, $P_1(t) = 1 - P_0(t)$.

Quand (t vers $+\infty$) tend vers une limite asymptotique D_∞ qui se traduit par les formules suivante :

$$D_\infty = \frac{\mu}{\mu + \lambda} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} + \frac{1}{1 + \frac{\lambda}{\mu}} = \frac{1}{1 + \frac{MTTR}{MTBF}} \quad \text{II.8}$$

Le rapport (MTTR / MTBF) est appelé le « rapport de maintenance ».

Conclusion

Dans ce chapitre on étudie l'analyse FMD (fiabilité, maintenabilité et disponibilité). Il se situe entre un texte de fiabilité, maintenabilité et disponibilité purement théorique pour toutes les parties principales de FMD.

On sait que l'analyse de la fiabilité constitue une phase indispensable dans toute étude de sûreté de fonctionnement. A l'origine, la fiabilité concernait les systèmes à haute technologie (centrales nucléaires, aérospatial). Aujourd'hui, la fiabilité est devenue un paramètre clé de la qualité et d'aide à la décision, dans l'étude de la plupart des composants, produits et processus "grand public": Transport, énergie, bâtiments, composants électroniques, composants mécaniques....

De nombreux industriels travaillent à l'évaluation et l'amélioration de la fiabilité de leurs produits au cours de leur cycle de développement, de la conception à la mise en service (conception, fabrication et exploitation) afin de développer leurs connaissances sur le rapport Coût/Fiabilité et maîtriser les sources de défaillance.

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. La maintenabilité par analogie à la fiabilité, exprime un intérêt considérable au maintien des équipements en état de service et par conséquent assure leur disponibilité.

CHAPITRE III

QUANTIFICATION DE LA

FIABILITE

III.1. Description de la méthode FMD

L'analyse de la fiabilité dans la domaine de la mécanique est un outils très important pour caractériser les comportements du produit dans les différents phases de vie, mesurer l'impact des modifications du produits ,qualifier un nouveau produits et améliorer ses performances tout au long de son fonctionnement .

La maintenabilité exprime un intérêt considérable au maintien des équipements eu état de service par conséquence assuré leur disponibilité

Dans ce troisième chapitre nous allons aborder une étude d'un compresseur a vis GA90+ basé sur la méthode FMD.

III.2. Définition du système a étudié

Le système à étudier est un compresseur à vis fabriquer par atlas copco model GA+90 dans les caractéristique technique sont représenté dans le tableau III.1.

Tableau III.1 : caractéristiques technique du compresseur GA90+.

TYPE	Pression de service				Débit d'air réel FAD ¹			Puissance		Niveau de bruit ²	Poids			
	Standard		Full-Feature ³								Standard		Full-Feature	
	bar(e)	psig	bar(e)	psig	l/s	m ³ /min	cfm	kW	ch	dB(A)	kg	lbs	kg	lbs
GA 90+	5,5	80	5,3	77	336	20,2	712	90	125	74	3000	6614	3393	7480
	7,5	109	7,3	106	293	17,6	621	90	125	74	3000	6614	3393	7480
	8,5	123	8,3	120	280	16,8	593	90	125	74	3000	6614	3393	7480
	10	145	9,8	142	253	15,2	536	90	125	74	3000	6614	3393	7480

III.3. Principe de fonctionnement

Son fonctionnement est assuré par les éléments suivant :

- Un circuit d'air ;
- Un circuit d'huile ;
- Un circuit de refroidissement ;
- Composant électrique ;
- étage de compression.

Sont représenté dans la figure III.1

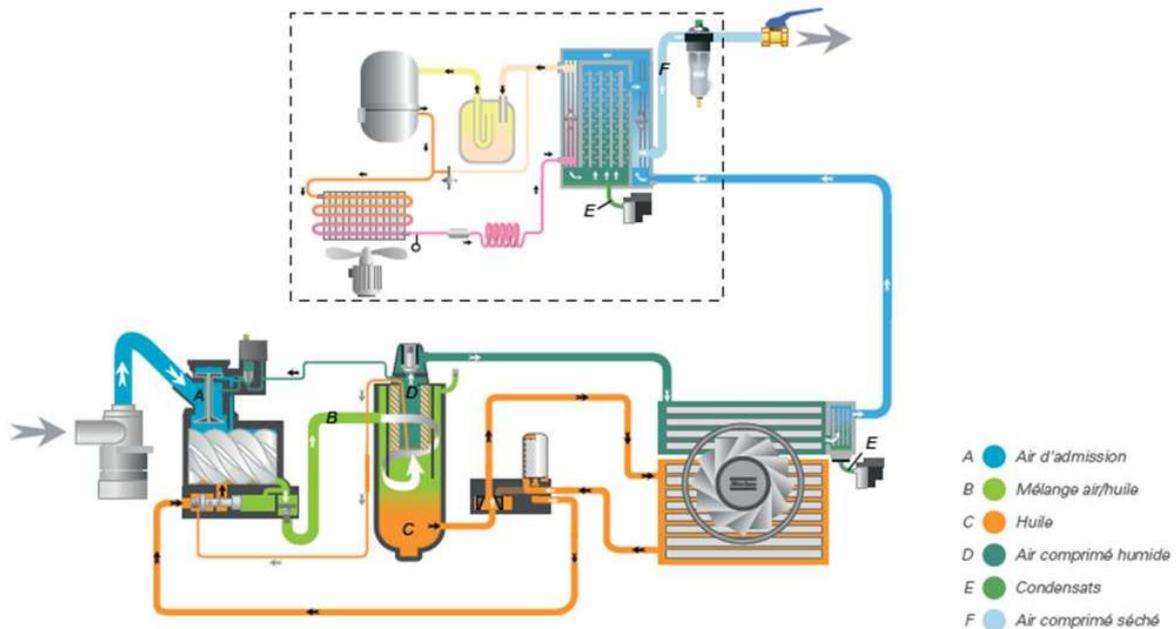


Figure III.1 : Principe de fonctionnement.

L'air aspiré à travers le filtre passe par une soupape qui en régule le débit puis il arrive à la vis où, en se mélangeant à l'huile, il est comprimé. Le mélange air/huile produit par la compression arrive dans un réservoir où se produit tout d'abord la première séparation par gravité; l'huile, plus lourde, se dépose au fond, elle est refroidie en passant par un échangeur de chaleur, filtrée puis injectée à nouveau dans la vis. Les fonctions de l'huile sont le refroidissement de la chaleur produite par la compression, la lubrification des roulements et l'étanchéité de l'accouplement au niveau des lobes des vis.

A travers un filtre déshuileur, l'air est une nouvelle fois purifié des résidus de particules d'huile. Refroidi à travers un autre échangeur de chaleur, il sort enfin à l'utilisation à basse température, Un système de sécurité contrôle les points vitaux de la machine en signalant les éventuelles anomalies. La température du mélange air/huile à la sortie de la vis est contrôlée par une sonde thermostatique qui arrête le compresseur lorsque sa valeur est élevée (105 °C).

III.4. But à éteindre

Dans ce chapitre nous allons faire une analyse de fiabilité basée sur la loi de Weibull d'un compresseur GA90+, au même temps déterminer la disponibilité et sa maintenabilité pour améliorer les performances tout long de sa mission.

Chapitre III : Quantification de la fiabilité

III.5. Exploitation de l'historique

L'historique de panne (la compresseur ATLAS-COPCO GA90) ; et donner par le tableau III.2

Tableaux III.2 : tableaux historique du compresseur GA90+.

N°	Date de début	Date d'arrêt	TBF (h)	TTR (h)	Cause	Action
1	10/04/2013	27/06/2013	1824	48	Vibration importante vis 1	Démontage et équilibrage de vis
2	29/04/2013	12/09/2013	312	24	diminution du débit	Changer le filtre à Air
3	13/09/2013	01/10/2013	1176	24	Chute de pression	Changement de la Vanne
4	02/10/2013	07/01/2014	2088	48	Cisaillement de vis 1	Changement de la Vis
5	09/01/2014	23/02/2014	1008	10	diminution de niveaux d'huile	Changement des tuyaux
6	23/02/2014	10/06/2014	2616	20	Arrêt du compresseur	Changement de charbon
7	11/06/2014	07/08/2014	1368	48	Défaut de roulement	Changement de roulement
8	09/08/2014	18/12/2014	3144	10	Température élevé	Moteur ventilateur grille
9	18/12/2014	28/02/2015	1680	45	Cisaillement de vis 2	Changement de la vis 2
10	29 /03/2015	03/06/2015	2280	22	Corrosion de radiateur	Changement de Radiateur
11	04/06/2015	07/07/2015	816	8	Arrêt compresseur	Alimentation électrique instable
12	07/07/2015	05/10/2015	2136	45	Grincement bruit fort	Changement de roulement
13	07/10/2015	13/12/2015	1608	24	Fort bruit	Denture d'engrenage cassé
14	14/12/2015	05/03/2016	1920	17	Arrêt de compresseur	Changement de Contacteur
15	08/05/2016	11/05/2016	1758	8	Arrêt du compresseur	Protection thermique ventilateur grillé
16	09/07/2016	12/07/2016	2200	10	Consommation excessive huile	Changement huile

Le traitement des données brutes de l'historique (tableau III. 1), passe par :

- Le calcul des heures d'arrêt suite à des pannes (TTR) qui résultent des différences entre les dates d'arrêt et de démarrage.

Chapitre III : Quantification de la fiabilité

- Le calcul des heures de bon fonctionnement (TBF), qui résultent des différences entre deux pannes successives.

III.6. Etude de fiabilité

III.6.1. Calcul les paramètres de Wei bull

Le tableau suivant comporte les TBF classés par ordre croissant, et les F(i) calculés par la méthode des Ranges médians $F(i) = \frac{\sum ni - 0.3}{N + 0.4}$ (dans notre cas $N = 16 \leq 20$) et on trace la courbe de Wei bull

Tableau III.03 : Fonction de répartition réelle.

N°	TBF(h)	N	Σni	F(i)	F(i) %
1	312	1	1	0.0426	4,26
2	816	1	2	0.1036	10,36
3	1008	1	3	0.1646	16,46
4	1176	1	4	0.2256	22,56
5	1368	1	5	0.2865	28,65
6	1608	1	6	0.3475	34,75
7	1680	1	7	0.4085	40,85
8	1758	1	8	0.4610	46,10
9	1824	1	9	0.5304	53,04
10	1920	1	10	0.5914	59,14
11	2088	1	11	0.6524	65,24
12	2136	1	12	0.7134	71,34
13	2200	1	13	0.7743	77,43
14	2280	1	14	0.8353	83,53
15	2616	1	15	0.8963	89,63
16	3144	1	16	0.9573	95,73

Pour tracer et déterminer les paramètres de Wei bull on a utilisé un logiciel (minitab18)

Résultats obtenu

La figure III.3 représente la courbe de distribution weibull réalisé par logiciel mini tab 18.

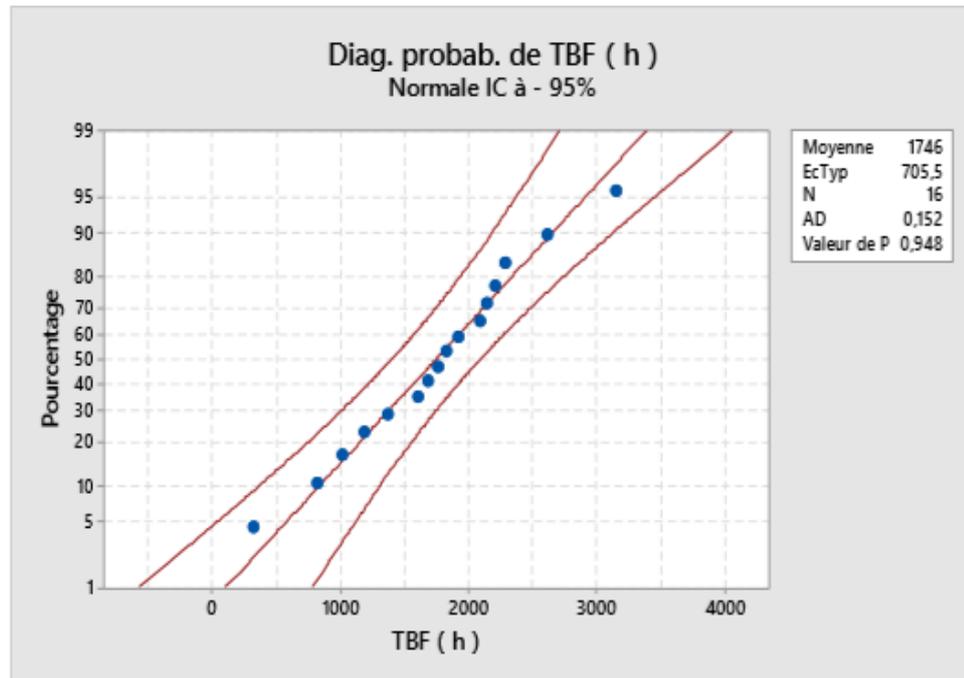


Figure III.2: papier de Wei bull en logiciel minitab18.

III.6.2.Déterminations des paramètres de Wei bull

Le modèle de Wei bull ne peut à lui seul représenter l'ensemble des cofacteurs influents sur la fiabilité de la macro composant, l'adjonction d'un modèle à hasard proportionnel sous forme de régression apporte une réponse qui devrait être plus adaptée.

Après régression le nuage n estimer les paramètres.

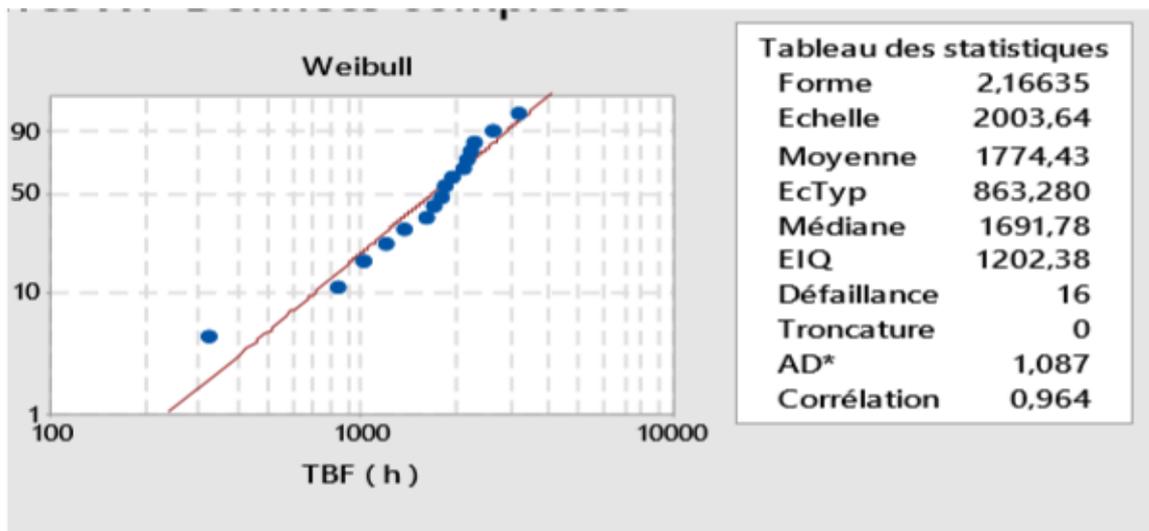


Figure III.3: estimation les paramètres de Wei bull en logiciel minitab18.

Chapitre III : Quantification de la fiabilité

Les paramètres β, η, γ :

$$\beta = 2.16635$$

$$\eta = 1774.43$$

$$\gamma = 0$$

$\gamma = 0$ par ce que les pannes passent à l'origine du temps.

III.6.3. Test (KOLMOGOROV SMIRNOV)

Avant la validation de toutes les lois de fiabilité, il est nécessaire de tester l'hypothèse pour savoir si nous devons accepter ou rejeter le modèle proposé par le test de K-S avec un seuil de confiance de $\alpha = 20\%$. Ce test consiste à calculer l'écart entre la fonction théorique $F_e(t_i)$ et la fonction réelle $F(t)$ et prendre le maximum en valeur absolue DN_{max} . Cette valeur est comparée avec DN_{α} qui est donnée par la table de Kolmogorov Smirnov (voir annexe 1).

Si $DN_{max} > DN_{\alpha}$ On refuse l'hypothèse.

Tableau III.04 : tableau K-S.

N°	TBF	F (i)	F(t)	DN max= F (i) - F(t)
1	312	0,0426	0,0095	0,0331
2	816	0,1036	0,1331	0,0295
3	1008	0,1646	0,1782	0,0136
4	1176	0,2256	0,2481	0,0225
5	1368	0,2865	0,3422	0,0557
6	1608	0,3475	0,4688	0,1213
7	1680	0,4085	0,5071	0,0986
8	1758	0,461	0,5481	0,0871
9	1824	0,5304	0,5822	0,0518
10	1920	0,5914	0,6302	0,0388
11	2088	0,6524	0,7084	0,056
12	2136	0,7134	0,7291	0,0157
13	2200	0,7743	0,7554	0,0189
14	2280	0,8353	0,7861	0,0492
15	2616	0,8963	0,8881	0,0082
16	3144	0,9573	0,9698	0,0125

La validation de modèle de weibull dépend deux paramètres :

$DN_{max} < DN_{\alpha}$ Ce qui veut dire que le modèle de Wei Bull est accepté.

La courbe de taux de défaillance est croissante.

$DN_{max} = 0.1213$ tandis que $DN_{\alpha} = D16 .20 = 0,258$ (voir annexe tab.1). $0.1213 < 0.258$

Donc la première condition est remplie.

Chapitre III : Quantification de la fiabilité

Calcul du taux de défaillance

Sa fonction s'écrit comme suite :

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

Tableau III.05 : calcul de la fonction taux de défaillance

TBF (h)	$\lambda(t) \cdot 10^5$
312	16.08
816	49.34
1008	63.13
1176	75.56
1368	90.13
1608	108.84
1680	114.54
1758	120.77
1824	126.07
1920	133.85
2088	147.60
2136	151.57
2200	156.88
2280	163.55
2616	191.99
3144	237.53

Courbe taux de défaillance

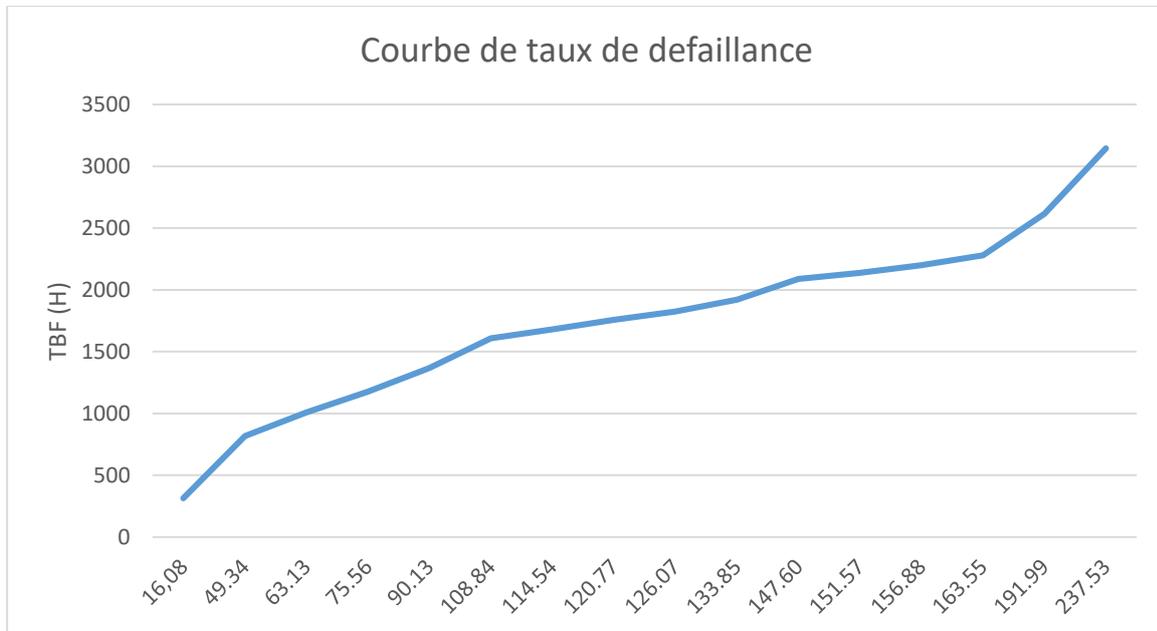


Figure III.4 : courbe du taux de défaillance

Donc la deuxième condition est remplie.

Alors le modèle de weibull est acceptable.

III.6.4. Exploitation les paramètres de WEIBULL

a) Le MTBF

Le tableau de MTBF donne A=0,8857/ B=0,443 (voir annexe tab.2).

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

$$MTBF = 0,8857 * 2003,64 + 0$$

$$MTBF = 1774,62h.$$

b) La densité de probabilité en fonction de MTBF

$$f(t = MTBF) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\lambda}\right)^{\beta-1} \cdot e - \left(\frac{t-\gamma}{\lambda}\right)^{\beta} \quad \text{III. 2}$$

$$f(t=1774,62) = 0,0026$$

c) La fonction de répartition en fonction de MTBF

$$F(t=MTBF) = 1 - e - \left(\frac{t-\gamma}{\lambda}\right)^{\beta} \quad \text{III. 3}$$

$$F(t=MTBF) = 0,53 = 53\%$$

d) La fiabilité en fonction de MTBF

$$R(t=MTBF) = 1 - F(t= MTBF)$$

$$R(MTBF) = 1 - 0,53 = 0,47 = 47\%$$

On remarque que la fiabilité du compresseur est faible.

e) Calcul du temps souhaitable pour une intervention systématique

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

$$R(t) = 1 - F(t) = e - \left(\frac{t-\gamma}{\lambda}\right)^{\beta} \quad \text{III. 4}$$

$$R(t) = e - \left(\frac{t-\gamma}{\lambda}\right)^{\beta} \quad \text{III. 5}$$

$$t = \eta [\ln (1/R(t))]^{1/\beta}$$

$$t = 2003,64 [\ln (1/0,47)]^{1/2,16635}$$

$$t_{\text{Sys}} = 1759,88 h.$$

Pour garder la fiabilité du compresseurs 80% il faut intervenir à chaque temps systématique 1759,88h.

III.6.5. Étude de modèle de Weibull

a) La fonction de la densité de probabilité

$$f(t = \text{MTBF}) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t - \gamma}{\lambda}\right)^{\beta-1} \cdot e - \left(\frac{t - \gamma}{\lambda}\right)^{\beta} \quad \text{III. 6}$$

Résultats :

Après une application numérique sur la fonction de densité de probabilité donne ces résultats sous forme de tableau suivant :

Tableau III.06 : Calcul la fonction de la densité de probabilité

TBF	f (t)
312	0,01763828
816	0,13310526
1008	0,20209152
1176	0,27040664
1368	0,3543417
1608	0,46255411
1680	0,49476632
1758	0,52917464
1824	0,55774817
1920	0,59818527
2088	0,66494326
2136	0,68293284
2200	0,70609662
2280	0,73366914
2616	0,83169515
3144	0,92961934

Courbe densité de probabilité

Les résultats obtenue dans le tableau son définie sous forme d'un courbe comme indiquer sur la figure III.4

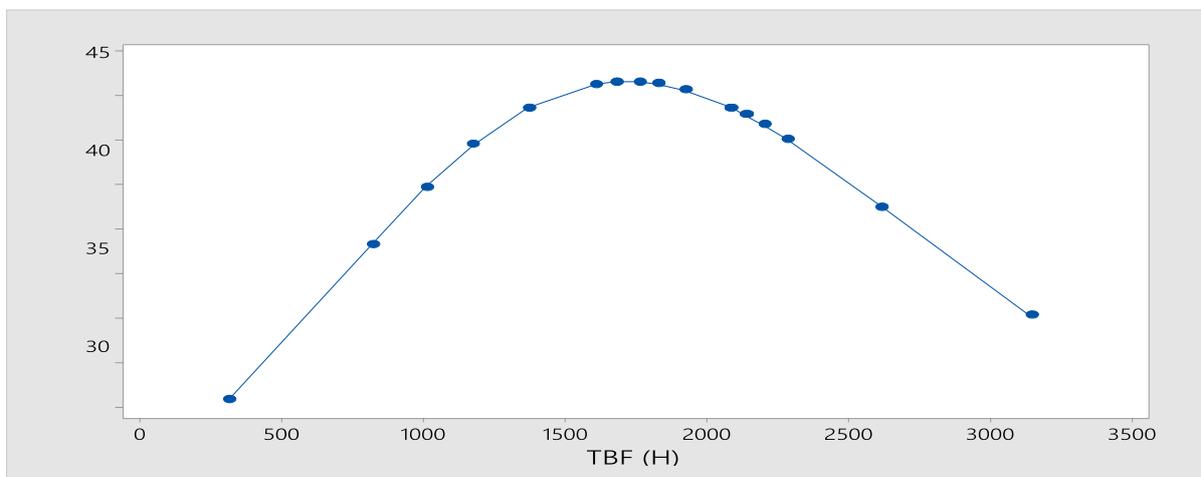


Figure III.5 : La Courbe Densité De Probabilité (logiciel mini tab 18)

Chapitre III : Quantification de la fiabilité

Analyse de la courbe :

D'après cette courbe on remarque que la fonction $f(t)$ (densité de probabilité) augmente avec la progression du temps jusqu'à le temps ($t=1680h$) et après cette valeur la fonction $f(t)$ diminue avec le temps.

b) Fonction de répartition $F(t)$

$$F(t) = 1 - e - \left(\frac{t - \gamma}{\lambda}\right)^\beta \quad \text{III. 7}$$

Résultats

On calcule les valeurs $F(t)$ pour différent TBF .les résultats donné par le tableau III.06.

Tableau III.07 : Fonction de répartition

TBF	f (t)
312	0,01763828
816	0,13310526
1008	0,20209152
1176	0,27040664
1368	0,3543417
1608	0,46255411
1680	0,49476632
1758	0,52917464
1824	0,55774817
1920	0,59818527
2088	0,66494326
2136	0,68293284
2200	0,70609662
2280	0,73366914
2616	0,83169515
3144	0,92961934

Courbe fonction de répartition $F(t)$:

Représentation graphique de fonction $F(t)$, C'est une fonction strictement croissante comme montrer la fig. III.5

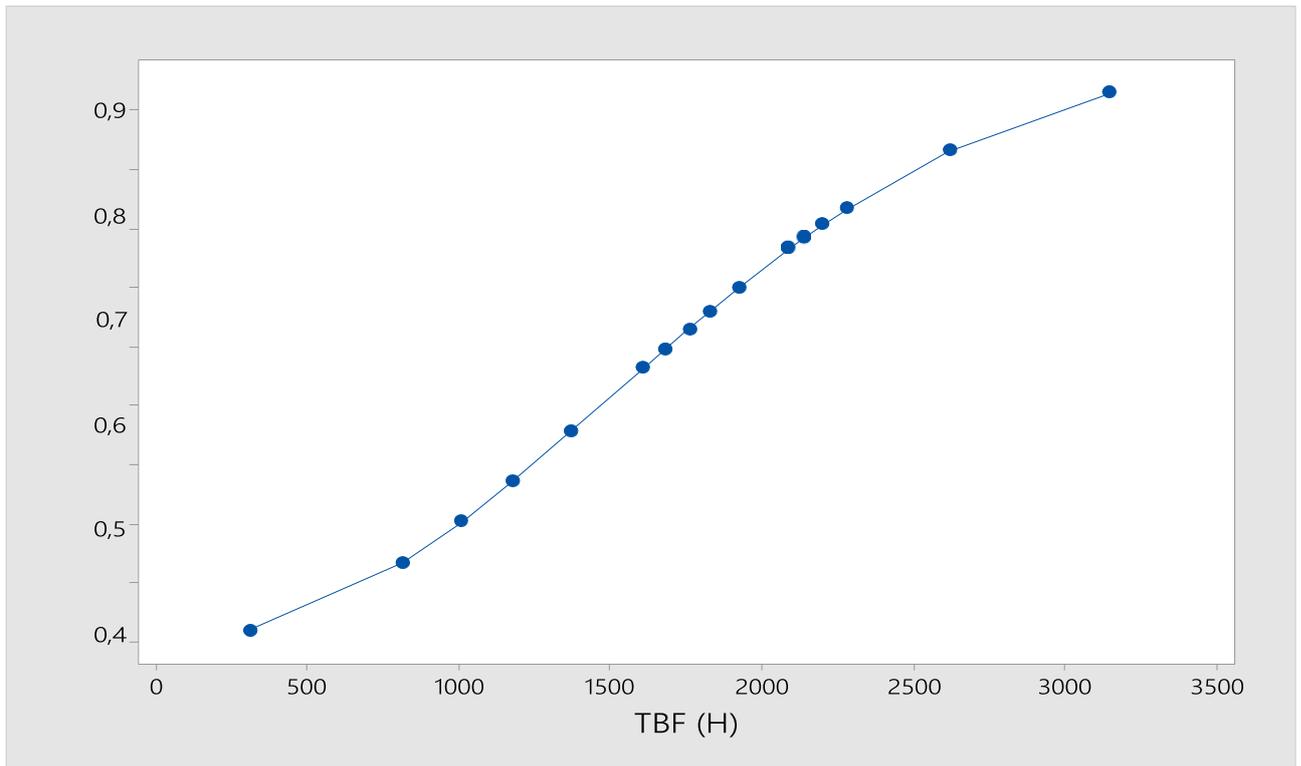


Figure III.6 : La Courbe De Fonction Répartition (logiciel mini tab 18).

Analyse de la courbe

La fonction de défaillance est croissante en fonction de temps, et pour $t=MTBF$.

$$F(MTBF) = 0,53 = 53\%$$

III.6.6.La fiabilité $R(t)$

La fonction fiabilité de celle de répartition : $R(t) = 1-F(t)$, après calcul de la fiabilité du compresseur au temps $t=MTBF$, on trouve que la valeur n'est pas satisfaisante donc on peut dire que le compresseurs n'est pas fiable à $t=MTBF$.

$$R(t) = e - \left(\frac{t - \gamma}{\lambda}\right)^\beta \quad \text{III. 8}$$

$$R(t=MTBF) = 0,47 = 47\%.$$

Chapitre III : Quantification de la fiabilité

Résultats

La représentation graphique de la fonction de fiabilité de cette répartition à l'aide de tableau ci-dessous.

Tableau III.08 : Calcul de la fiabilité

TBF	R (t)
312	0,98236172
816	0,86689474
1008	0,79790848
1176	0,72959336
1368	0,6456583
1608	0,53744589
1680	0,50523368
1758	0,47082536
1824	0,44225183
1920	0,40181473
2088	0,33505674
2136	0,31706716
2200	0,29390338
2280	0,26633086
2616	0,16830485
3144	0,07038066

Courbe de la fiabilité

La figure ci-dessous (Figure III.6) explique la courbe de fiabilité en fonction de TBF terminée par (Excel)

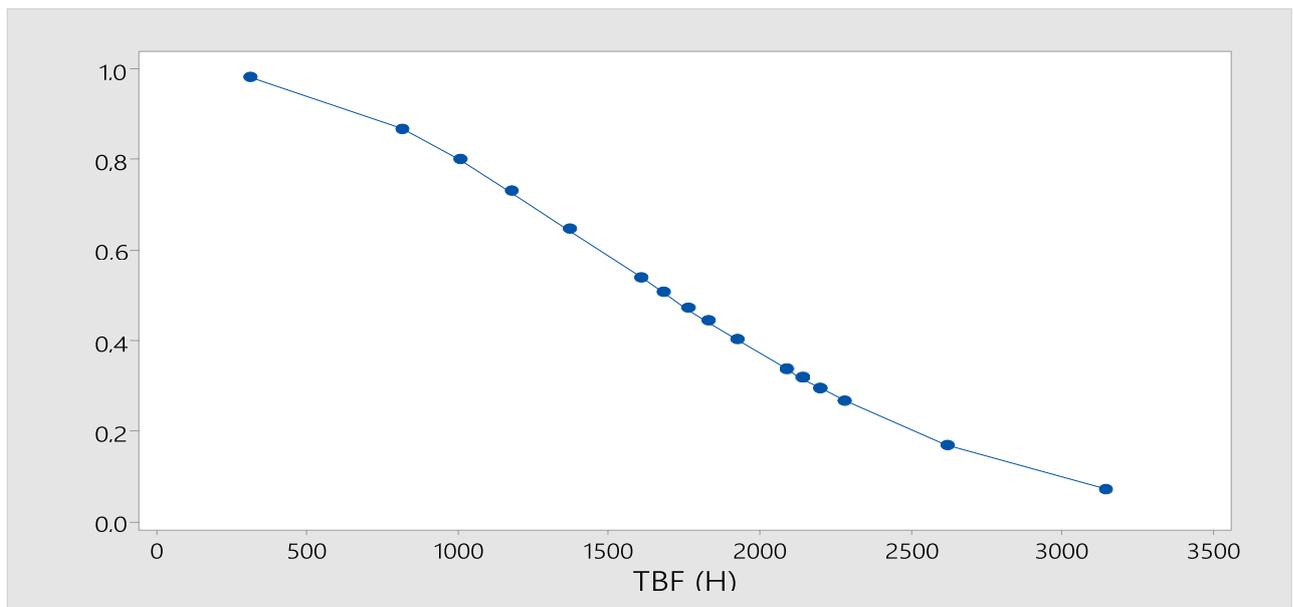


Figure III.7 : La Courbe De la Fonction Fiabilité (logiciel mini tab 18)

Chapitre III : Quantification de la fiabilité

Analyse de la courbe

Le graphe décroissant en fonction de temps ce qui fait expliquer par le phénomène de dégradation comme par exemple l'usure.

L'amélioration de la fiabilité du compresseur passe obligatoirement par une analyse des défaillances avec une étude détaillée de leurs causes de leurs modes et de leurs conséquences.

III.7.Maintenabilité

III.7.1.Calcul de Maintenabilité du compresseur

D'après l'historique des pannes du compresseur :

$$MTTR = \sum TTR / N.$$

TTR : temps de réparation.

N : nombre de pannes.

$$MTTR = 411 / 16 = 25,6875 \text{ h.}$$

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad \text{III.9}$$

$$\text{Avec } \mu = 1 / MTTR$$

$$1 / 25,6875 = 0,038 \text{ intervention / heure.}$$

Résultats obtenu

Après de calculer le rapport $1/MTTR$ nécessite de déterminer la fonction de maintenabilité par rapport le TTR. Le tableau suivant montré sa (tab III.08)

Tableau III.09: La maintenabilité du compresseur.

TTR	M (t)
08	0,26213913
08	0,26213913
10	0,31613859
10	0,31613859
10	0,31613859
17	0,47586186
20	0,53233357
22	0,56655918
24	0,59828002
24	0,59828002
24	0,59828002
45	0,81913421
45	0,81913421
48	0,83862106
48	0,83862106
48	0,83862106

Courbe de La maintenabilité

La figure ci- dessous expliquer la courbe de M(t) par rapport le TTR

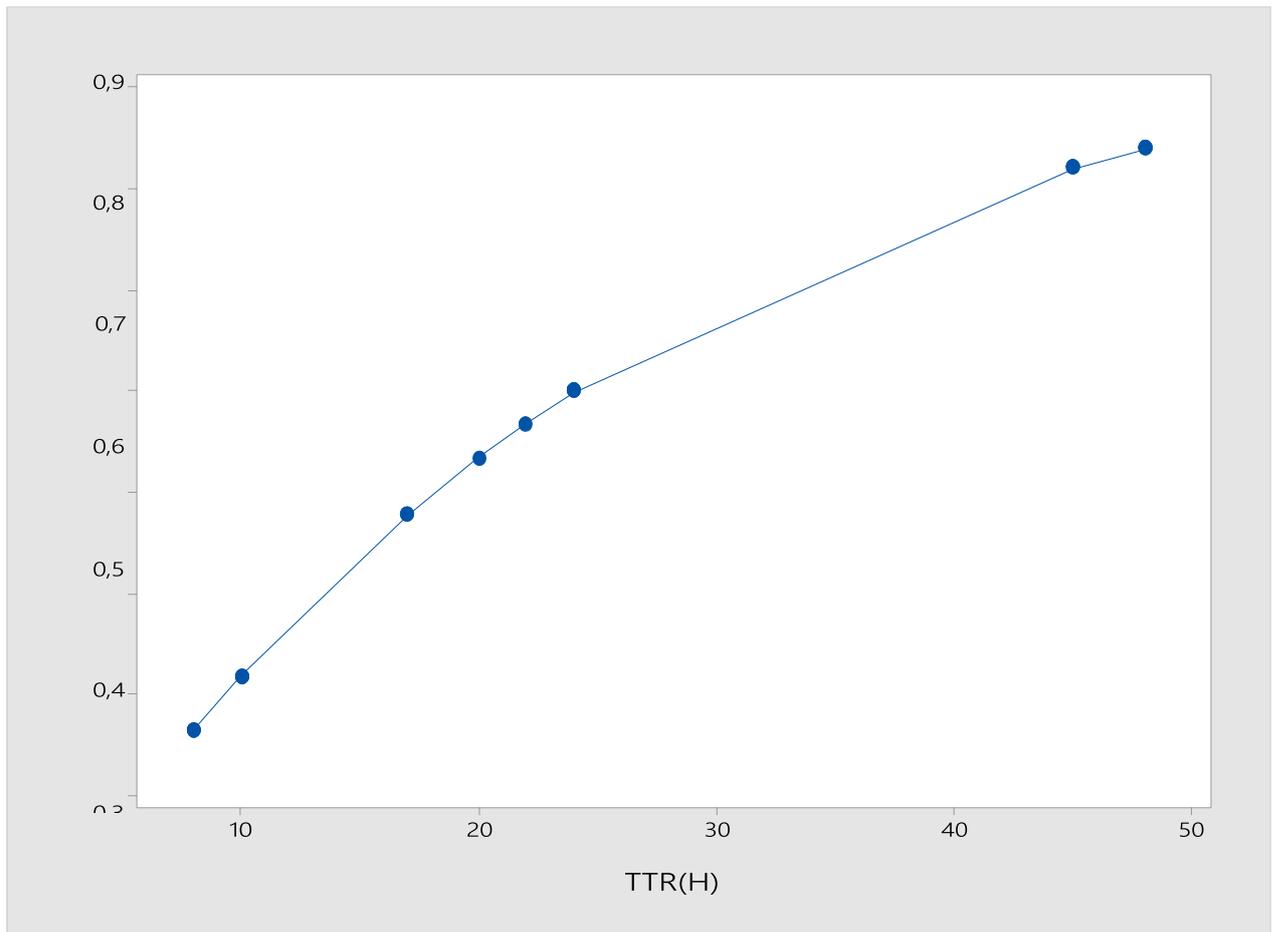


Figure III.8 : La Courbe de Maintenabilité (logiciel mini tab 18).

Analyse de la courbe

La Maintenabilité est croissante en fonction du temps à l'instant T=48 heures, la maintenabilité est 83,86 %.

III.8.Disponibilité

III.8.1.Calcul de la disponibilité du compresseur

a) Disponibilité intrinsèque au asymptotique

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

$$D_i = \frac{1774,62}{(1774,62 + 25,6875)} = 0,9857$$

b) Disponibilité instantané

$$D(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\mu}{\mu + \lambda} e^{-(\mu + \lambda)t} \quad \text{III. 10}$$

Chapitre III : Quantification de la fiabilité

$$MTBF = 1/\lambda \Rightarrow \lambda = 1/MTBF = 1/1774,62 = 0,00056$$

$$MTTR = 1/\mu \Rightarrow \mu = 1/MTTR = 1/25,6875 = 0,03892$$

$$\lambda + \mu = 0,00056 + 0,03892 = 0,3948$$

Résultats

Après l'ordre croissant de TTR, nous passons au calcul de la fonction de maintenabilité. Comme montré dans le tableau III.09

Tableau III.10: La Disponibilité du compresseur.

TTR (H)	D(t)
08	0,9962
08	0,9962
10	0,9954
10	0,9954
10	0,9954
17	0,9931
20	0,9923
22	0,9918
24	0,9913
24	0,9913
24	0,9913
45	0,9882
45	0,9882
48	0,9879
48	0,9879
48	0,9879

La figure III.8 représente une courbe de disponibilité réalisée par logiciel (min tab 18)

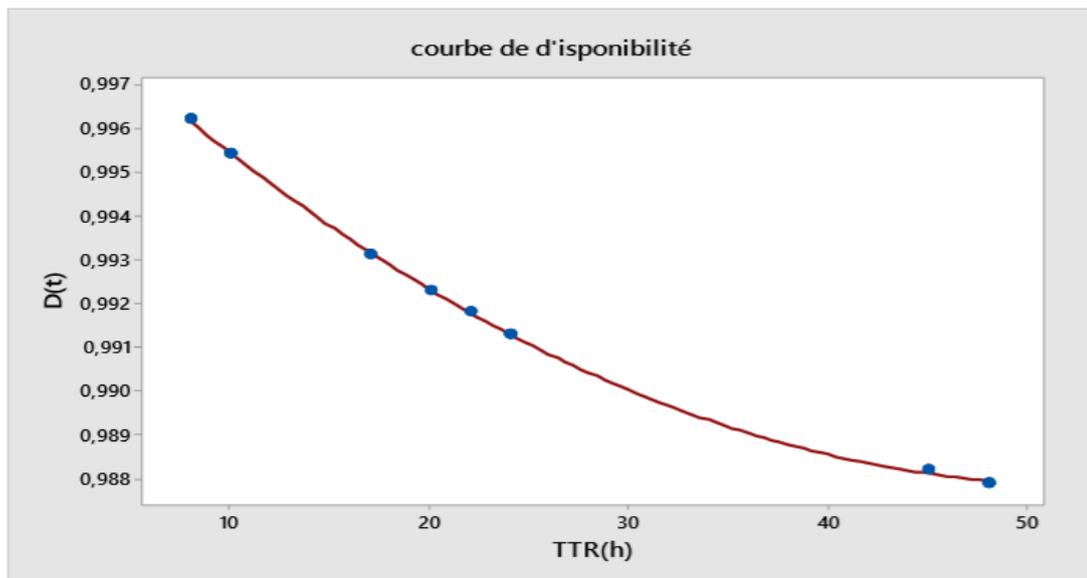


Figure III.9 : La Courbe de disponibilité (logiciel mini tab 18).

Chapitre III : Quantification de la fiabilité

Analyse de la courbe

La disponibilité est décroissante en fonction de temps, pour augmenter la disponibilité d'un compresseur consiste à diminuer le nombre de ses arrêts (augmentée sa fiabilité) et réduire le temps nécessaire pour résoudre les causes de ceux-ci (augmenté sa Maintenabilité).

Disponibilité à ∞ :

Quand (t vers $+\infty$) tend vers une limite asymptotique D_∞ qui se traduit par la formule suivante :

$$D_\infty = \frac{\mu}{\lambda + \mu} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} + \frac{1}{1 + \frac{\lambda}{\mu}} = \frac{1}{1 + \frac{MTTR}{MTBF}} \quad \text{III.11}$$

$$D_\infty = 1 / (1 + (25,6875 / 1774,62)) = 0.98 = 98\%.$$

Après ces calculs détaillés de la fiabilité et la disponibilité de ce compresseur GA90+ et les résultats obtenus on peut proposer un plan de maintenance qui permet d'améliorer la fiabilité et réduire les temps d'arrêts.

Chapitre III : Quantification de la fiabilité

III.9. Plan de maintenance

Tableau III.11 : plan de maintenance de compresseur GA90+

Plan de maintenance preventive	Machine : compresseur atlas coupco GA90+						
Operations executable en fonctionnement	Executant	fréquence					observation
Opérations		J	M	T	S	A	
Verifier le niveau d'huile de compresseur	Mécanicien	X					contrôler
Contrôler la cartouche de filtre d'air	Mécanicien		X				A l'arrêt
Nettoyer la cartouche de filtre d'air	Mécanicien				X		A l'arrêt
Remplacer la cartouche de filtre d'air	Mécanicien					X	A l'arrêt
Changer la cartouche de filtre d'huile	Mécanicien			X			A l'arrêt
Vérifier le clapet de retour d'huile	Mécanicien					X	A l'arrêt
Contrôler l'étanchéité des raccords	Mécanicien				X		A l'arrêt
Vérifier l'état de canalisation	Mécanicien					X	A l'arrêt
Contrôler le système de refroidissement	Mécanicien		X				A l'arrêt
Contrôler la soupape de sécurité	Mécanicien				X		A l'arrêt
Graisser le palier de moteur	Mécanicien				X		A l'arrêt
Vérifier le clapet d'aspiration	Mécanicien					X	A l'arrêt
Date	J= jour M=mois T=trimestrielle S= semestrielle A= annuelle						

Conclusion

La validation de modèle de weibull dépend deux paramètres :

$DN_{max} < DN, \alpha$ Ce qui veut dire que le modèle de Wei Bull est accepté.

La courbe de taux de défaillance est croissante.

Pour garder la fiabilité du compresseurs 80% il faut intervenir à chaque temps systématique 1759, 88h.

L'amélioration de la fiabilité du compresseur passe obligatoirement par une analyse des défaillances avec une étude détaillée de leurs causes de leurs modes et de leurs conséquences

Pour augmenter la disponibilité d'un compresseur consiste à diminuer le nombre de ses arrêts (augmentée sa fiabilité) et réduire le temps nécessaire pour résoudre les causes de ceux-ci (augmenté sa Maintenabilité).

Conclusion générale

Au terme de notre étude, nous pouvons constater et conclure. Que la fiabilité d'un équipement constitue un outil incontournable pour évaluer l'efficacité de n'importe quelle entité.

A travers le précédent calcul, nous avons montré l'importance de l'utilisation de la loi de Weibull comme modèle pour décrire le comportement des systèmes mécaniques. Les différentes courbes obtenues pour le compresseur montrent clairement que la fiabilité et maintenabilité et la disponibilité dépendant aussi à la politique de la maintenance adressé au compresseur. Ceci conduit de manière générale à une bonne maîtrise de la maintenance de tout le système en mettant l'accent sur les éléments les plus pénalisants.

Après avoir étudié la fiabilité du compresseur à vis Atlas copco GA90+, nous avons trouvé la valeur du paramètre de forme supérieur à 1 ($\beta > 1$), ce qui signifie que ce compresseur est en période de vieillesse.

Pour rendre le bien fiable d à 80% il faut intervenir chaque 500 h sur les éléments plus critiques.

Enfin, à travers tous ces résultats, on a pu suggérer un plan de maintenance pour le compresseur étudié, qui vise à l'amélioration des actions de maintenance préventive, dans le but de le maintenir, et de prolonger sa durée de vie.

ANNEXES

Annexes 01

Tableau de loi kolmogorov-smirnov

N	Seuil critiques D(n)				
	$\alpha = 0.20$	$\alpha = 0.15$	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$
1	0.900	0.925	0.950	0.975	0.995
2	0.684	0.726	0.776	0.842	0.929
3	0.565	0.597	0.642	0.708	0.828
4	0.494	0.525	0.564	0.624	0.733
5	0.446	0.474	0.510	0.565	0.669
6	0.410	0.436	0.470	0.521	0.618
7	0.381	0.405	0.438	0.486	0.577
8	0.358	0.381	0.411	0.457	0.543
9	0.339	0.360	0.388	0.432	0.514
10	0.322	0.342	0.368	0.410	0.490
11	0.307	0.326	0.352	0.391	0.468
12	0.295	0.313	0.338	0.375	0.450
13	0.284	0.302	0.325	0.361	0.433
14	0.274	0.292	0.314	0.349	0.418
15	0.266	0.283	0.304	0.338	0.404
16	0.258	0.274	0.295	0.328	0.392
17	0.250	0.266	0.286	0.318	0.381
18	0.244	0.259	0.278	0.309	0.371
19	0.237	0.252	0.272	0.301	0.363
20	0.231	0.246	0.264	0.294	0.356
25	0.210	0.220	0.240	0.270	0.320
30	0.190	0.200	0.220	0.240	0.290
35	0.180	0.190	0.210	0.230	0.270
>35	$1.07 / \sqrt{n}$	$1.14 / \sqrt{n}$	$1.22 / \sqrt{n}$	$1.36 / \sqrt{n}$	$1.63 / \sqrt{n}$

Annexes 02

Les coefficients A, B P/R le β (distribution de weibull)

β	A	B	β	A	B	β	A	B
0,2	120	1901	1,7	0,8922	0,54	4,4	0,9146	0,235
0,25	24	199	1,75	0,8906	0,525	4,5	0,9125	0,23
0,3	9,2625	50,08	1,8	0,8893	0,511	4,6	0,9137	0,226
0,35	5,291	19,98	1,85	0,8882	0,498	4,7	0,9149	0,222
0,4	3,3234	10,44	1,9	0,8874	0,486	4,8	0,9116	0,218
0,45	2,4686	6,46	1,95	0,8867	0,474	4,9	0,9171	0,214
0,5	2	4,47	2	0,8862	0,463	5	0,9162	0,21
0,55	1,7024	3,35	2,1	0,8857	0,443	5,1	0,9192	0,207
0,6	1,546	2,65	2,2	0,8856	0,425	5,2	0,9202	0,203
0,65	1,3663	2,18	2,3	0,8859	0,409	5,3	0,9213	0,2
0,7	1,2638	1,85	2,4	0,8865	0,393	5,4	0,9222	0,197
0,75	1,1906	1,61	2,5	0,8873	0,38	5,5	0,9232	0,194
0,8	1,133	1,43	2,6	0,8882	0,367	5,6	0,9241	0,191
0,85	1,088	1,29	2,7	0,8893	0,355	5,7	0,9251	0,186
0,9	1,0522	1,17	2,8	0,8905	0,344	5,8	0,9226	0,165
0,95	1,0234	1,08	2,9	0,8919	0,334	5,9	0,9269	0,183
1	1	1	3	0,893	0,316	6	0,9277	0,18
1,05	0,9803	0,934	3,1	0,8943	0,325	6,1	0,9266	0,177
1,1	0,9649	0,878	3,2	0,8957	0,307	6,2	0,9294	0,175
1,15	0,9517	0,83	3,3	0,897	0,299	6,3	0,9302	0,172
1,2	0,9407	0,787	3,4	0,8984	0,292	6,4	0,9331	0,17
1,25	0,99314	0,75	3,5	0,8997	0,285	6,45	0,9313	0,168
1,3	0,9236	0,716	3,6	0,9011	0,278	6,5	0,9316	0,167
1,35	0,917	0,667	3,7	0,9025	0,272	6,55	0,9321	0,166
1,4	0,9114	0,66	3,8	0,9083	0,266	6,6	0,9325	0,166
1,45	0,9067	0,635	3,9	0,9051	0,26	6,65	0,9329	0,164
1,5	0,9027	0,613	4	0,9064	0,254	6,7	0,9335	0,163
1,55	0,8994	0,593	4,1	0,9077	0,249	6,75	0,9336	0,162
1,6	0,8966	0,574	4,2	0,9086	0,244	6,8	0,9334	0,161
1,65	0,8942	0,556	4,3	0,9102	0,239	6,9	0,9347	0,15

Annexes 02

Bibliographie

- [1] Thierry DESTOOP Compresseurs volumétriques Ingénieur de l'École Universitaire d'Ingénieurs de Lille (EUDIL),
- [2] ENSPM formation industrie, technologie et fonctionnement des compresseurs 11-04-2005
- [3] Alain Anstett, Projet, Réalisation d'un démonstrateur manuel de compresseur scroll Corotatif 2012-2013
- [4] Maamoune Saad, Lebsisse Noureddine, Thème (Adaptation d'un nouveau système d'étanchéité (la garniture sèche) au compresseurs K201B) université Kasdi Merbah-ouargla à 2010/2011
- [5] BENHAMEL Houssameddine, GHERRAS Yassine - Thème (Influence des systèmes VSV (variable stator vanes) sur les performances de la turbine à gaz LM2500+) Université Abou bekr Belkaid – Tlemcen 2013-2014
- [6] Ladraa Aicha, Oukicha Najwa - projet de fin d'étude (Maîtrise et Fiabilisation des compresseurs de secteur adaptation de la laverie DAOUI) Université Sidi Mohammed Ben Abdellah Fès .15-06-2015
- [7] https://fr.wikipedia.org/wiki/Compresseur_m%C3%A9canique#.
- [8]. Cours “ gestion de maintenance industrielle“, Mr. Ahmed El BIYAALI ,2015.
- [9]P. Lyonnet . Ingénierie de la Fiabilité. Edition Tec et Doc, Lavoisier, Paris 2006.
- [10]. Barger P. Evaluation et Validation de La Fiabilité et de la disponibilité des Systèmes D'Automatisation à Intelligence Distribuée, en Phase Dynamique. Thèse de Doctorat de l'UHP Nancy 1, France, 2003
- [11] Jan Claude Ligeron « cours de Fiabilité en Mécanique » M20S/IMdR2009 779 page
- [12] Barger P. Evaluation et Validation de La Fiabilité et de la disponibilité des Systèmes D'Automatisation à Intelligence Distribuée, en Phase Dynamique. Thèse de Doctorat de l'UHP Nancy 1, France, 2003
- [13] Olivier Basile. Modélisation de la fiabilité des équipements mécaniques. Travail de fin d'études, Faculté Polytechnique de Mons, 2001.
- [14]. N. Makni, Cours de Fiabilité
- [15]. Dragan Komljenovic, Structure de système et redondance, Cours Ecole de Technologie Supérieure, Université de Québec
- [16]. Hathat Abdelkader, Deblaoui Hicham Mémoire (Etude analytique FMD d'une turbine DR990) université Kasdi Merbah – ouargla 2014/2015
- [17]. Olivier Basile. Modélisation de la fiabilité des équipements mécaniques. Travail de fin d'études, Faculté Polytechnique de Mons, 2001.
- [18]. P. Chapouille. Fiabilité. Maintenabilité. Techniques de l'ingénieur, 6 : T4300-T4305, 1980

Résumé

Le monde de l'industrie dispose de machines et d'installations de plus en plus performantes et complexes. Les exigences de haute sécurité, la réduction des coûts d'exploitation et la maîtrise de la disponibilité des équipements donnent à la maintenance des systèmes un rôle important.

Notre étude propose que les compresseurs sont une catégorie dans les turbomachines, ces derniers ont une grande importance dans les usines, on conséquence, ils ont besoin d'une surveillance continue de fiabilité, maintenabilité et de disponibilité pour un rendement optimale. L'assurance de la fiabilité et maintenabilité et disponibilité et donc un besoin d'exigence.

Mots clé : la fiabilité, maintenabilité, disponibilité, équipement.

Abstract

The world industry has more and more powerful and complex machines and plants. high security equipments , reduced operating costs and control of equipment availability give system maintenance a global pre role .our study suggest that compressors are a category in turbomachinery as they are of great importance in plants , they require continuous monitoring of reliability ,maintainability and a vailability for optimum performance .the assurance of reliability and maintainability and availability and there for a requirement .

Key words: reliability, maintainability, availability, equipment.

ملخص

يتمتع عالم الصناعة بآلات وتركيبات أكثر تعقيداً وكفاءة. إن متطلبات الأمان العالي وخفض تكاليف التشغيل والتحكم في توفر ً يتمتع عالم الصناعة بآلات وتركيبات أكثر تعقيداً ً. المعدات تمنح صيانة النظام دور عالمياً

تقترح دراستنا أن الضواغط هي فئة في الماكينة التوربينية، ولها أهمية كبيرة في المصانع، وبالتالي فهي تتطلب مراقبة مستمرة للموثوقية وقابلية الصيانة والتوافر للحصول على الأداء الأمثل. ضمان الموثوقية وقابلية الصيانة والتوافر وبالتالي الحاجة إلى معايير عالية

الكلمات المفتاحية: الموثوقية، الصيانة، التوفر، المعدات .