

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche Scientifique



Université de Ghardaïa

Faculté des Sciences et Technologies
Département d'automatique et électromécanique

N° d'ordre :

N° de série :

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Domaine : *Sciences et Technologies*

Filière : *Electromécanique*

Spécialité : *Maintenance industrielle*

Par : ACHOUR Ahmed

Thème

**Etude Analytique de la Maintenance Préventive d'un
Compresseur à Vis ATLAS COPCO GA15**

Soutenu publiquement le 25/06/2019

Devant le jury :

HACEN Nacer	M.A.A	Univ. Ghardaïa	Président
MOUATS Sofiane	M.A.A	Univ. Ghardaïa	Examineur
LALMI Djemoui	M.R.B	Uraer. Ghardaïa	Examineur
ZITANI Brahim	M.A.B	Univ. Ghardaïa	Encadreur

Année universitaire 2018/2019

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

Tout d'abord, je remercie ALLAH, le tout puissant sans sa volonté rien n'est possible, qui m'a donné de l'aide, du courage et de la patience afin de réaliser ce travail.

Nos reconnaissances vont à notre encadreur ZITANI Brahim, maitre-assistant à l'Université de Ghardaïa, qu'il trouve ici l'expression de nos sincères remerciements d'avoir bien voulu accepter d'encadrer ce mémoire et de nous avoir dirigés avec patience et intérêt pendant ce travail. Nous lui exprimons notre profonde gratitude pour tous ses conseils, son aide précieuse, son dévouement pour le travail et toutes les ressources qu'il a mis à notre disposition.

Enfin, nos remerciements vont également aux membres de jury qui ont acceptés d'évaluer, d'examiner et d'enrichir notre travail.

Enfin, mes remerciements vont également à tous les enseignants et les responsables de notre département d'automatique et électromécanique à l'université de Ghardaïa.

Enfin, mes remerciements vont également à tous les travailleurs du groupe GICA UNITE TOUGGOURT.

Table des matières

Remerciements.....	i
Table des matières.....	ii
Liste des figures	vi
Liste des tableaux.....	viii
Notations utilisées	ix
Introduction générale.....	2
Chapitre I:Généralité sur les Compresseurs	
I.1.Introduction sur les compresseurs.....	4
I.2.Définition.....	4
I.3.Utilisation.....	4
I.4. Classification des compresseurs.....	5
I.4.1.Compresseurs volumétriques.....	6
I.4.1.1.Compresseurs alternatifs	6
I.4. 1 .2. Les compresseurs rotatifs.....	7
I. 4.2.Compresseurs dynamiques.....	12
I. 4.2.1 Les compresseurs axiaux.....	12
I. 4.2.2. Les compresseurs centrifuges.....	12
I.5. Domaine d'application et critères de choix des compresseurs.....	13
I.6. Les avantages et les inconvénients de chaque type de compresseur	14
I.7. Compresseur a vis lubrifiées : atlas copco GA15.....	15
I.7.1. Les composantes de compresseur GA15.....	15
I.7.2. Le profile asymétrique.....	16

I.7.3. Principe du circuit d’huile.....	17
I.8. Conclusion.....	20
Chapitre II: généralité sur la maintenance.	
II.1. Introduction.....	22
II.2. La maintenance.....	22
II.2.1. Définition de la maintenance.....	22
II.2.2. Les objectifs de la maintenance.....	22
II.2.3. La stratégie de maintenance.....	22
II.2.4. Les niveaux de maintenance.....	23
II .2.5. Les différentes formes de la maintenance.....	23
II.2.5.1.Maintenance préventive.....	24
II .2.5.2. Maintenance corrective.....	24
II.2.6.Les opérations de la maintenance.....	24
II .2.7. Les temps de maintenance.....	25
II.3. Méthode ABC (Diagramme Pareto).....	26
II.3.1. Diagramme de Pareto.....	26
II.3.2. Définition de la méthode ABC.....	26
II.3.3. But de la méthode ABC.....	27
II.4. Etude de la fiabilité.....	27
II.4.1 Notion de fiabilité d’un système.....	27
II.4.2 Définition.....	27
II.4.3. Objectifs de la fiabilité.....	27
II.4.4. Les Principales lois de probabilité utilisées en fiabilité.....	28

II.4.5. Modèle de WEI BULL.....	28
II.4.5.1. La loi de Weibul.....	29
II .4.6. Estimation des paramètres du modèle de WEI BULL.....	31
II .4.7. La maintenabilité.....	33
II .4.7.1. Taux de réparation μ	33
II .4.8. La disponibilité.....	33
II .4.8.1. Les types de disponibilité.....	34
II.5.Conclusion.....	34
Chapitre III: Présente la Partie Calcul de L'étude Analytique de la Maintenance Affriquée au Compresseur GA 15	
III.1.Introduction	36
III.2. Exploitation de l'historique.....	36
III.3.La méthode : « ABC (Pareto)».....	38
III.3.1. La Courbe de Pareto.....	39
III.3.2. Interprétation des résultats.....	39
III.4. Calcul les paramètres de weibull.....	40
III.4.1. La Courbe de Weibull.....	40
III.4.2. Test (KOLMOGOROV SMIRNOV).....	41
III.4.3. Exploitation les paramètres de Weibull.....	42
III.4.4. Étude de modèle de Weibull.....	43
III.4.5. Calcul la Maintenabilité du compresseur.....	47
III.4.6. Calcul la disponibilité du compresseur.....	48
III.5.Conclusion.....	49

Conclusion générale	51
Références bibliographiques	52
ANNEXE	55

Liste des Figure

Figure Chapitre I

Figure (I.1) : Schéma des différents types de compresseur.....	5
Figure (I.2) : Compresseur à piston	7
Figure (I.3) : Compresseur à membrane	7
Figure(I.4) : compresseur à vis	8
Figure (I.5) : Compresseur à palettes	9
Figure (I.6) : Ancêtre des machines à palettes	9
Figure (I.7) : Compresseur à lobes	10
Figure (I.8) : Compresseur à anneau liquide	11
Figure (I.9) : Fonctionnement du compresseur à anneau liquide	11
Figure (I.10) : Compresseur centrifuge	13
Figure(I.11) : Compresseur à vis atlas copco GA15.....	15
Figure(I.12) : Élément de compresseur GA.....	16
Figure(I.13) : Ensemble de rotors.....	17
Figure(I.14) : Asymétrique profile.....	17
Figure(I.15) : schéma de la compresseur ATLAS-COPCO GA15.....	18

Figure Chapitre II

Figure (II.1) : Organigramme synthétique.....	23
Figure (II.2) : Diagramme de Pareto ou courbe ABC.....	26
Figure (II.3) : variation (β) en fonction de temps et de $R(t) - \lambda(t) - f(t)$	30
Figure (II.4) : Papier de Weibull.....	31
Figure (II.5) : redressement de la courbe par translation.....	32

Figure Chapitre III

Figure (III.1) : La Courbe de Pareto.....	39
Figure(III.2) : papier de Weibull (logiciel minitab16).....	40
Figure (III.3) : La Courbe Densité De Probabilité (logiciel matlab).....	43
Figure (III.4) : La Courbe De Fonction Répartition (logiciel matlab).....	44
Figure (III.5) : La Courbe De la Fonction Fiabilité (logiciel matlab).....	45
Figure (III.6) : Le courbe taux de défaillance (logiciel matlab).....	46
Figure (III.7) : La Courbe de Maintenabilité (logiciel matlab).....	47
Figure(III.8) : Courbe de la disponibilité.....	48

Liste des Tableaux

Tableaux Chapitre II

Tableau (I.1): Les avantages et les inconvénients de chaque type de compresseur.....14

Tableaux Chapitre III

Tableau(III.1) : L'historique de panne de compresseur ATLAS-COPCO GA15.....37

Tableau (III.2) : L'analyse ABC (Pareto).....38

Tableau (III.3) : Fonction de réparation réelle.....40

Tableau (III.4): test **K-S** (kolmogrov-smirnov).....41

Tableau (III.5) : Calcul la fonction de la densité de probabilité.....43

Tableau (III.6) : Fonction de répartition.....44

Tableau (III.7) : Calcul de la fiabilité.....45

Tableau(III.8) : Le taux de défaillance.....46

Tableau (III.9) : La Maintenabilité du compresseur.....47

Tableau (III.10) : Tableau de disponibilité.....48

Notations utilisées

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

λ (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

FMD : Fiabilité Maintenabilité Disponibilité

GICA : Groupe Industriel des Ciments d'Algérie

Introduction Générale

Introduction Générale

Actuellement l'Algérie se trouve en face de grands changements dans son 'économie nationale. Le développement de différentes industries (lourde, légère, de l'énergie, de la chimie et de la pétrochimie,.....etc.) exigent un système d'appareillage qui permet d'améliorer le travail, accélérer les rythmes de productivité, augmenter le volume des produits finis.

Parmi les machines ayant un rôle primordial dans les domaines d'activité industrielle, on peut citer 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. [11]

Les compresseurs sont des appareils 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. [11]

L'objectif de ce travail est de faire une analyse PARETO et FMD d'un compresseur à vis du type Atlas Copco GA15, de groupe GICA de l'unité Touggourt, en se basant sur l'historique des pannes.

Le but de ce travail aussi est de comprendre la fonction de maintenance et son importance dans ces compresseurs à vis et leur impact sur l'industrie dans les entreprises et en suivant les concepts et méthodes de base de cette maintenance.

Le présent mémoire est constitué de trois chapitres :

Chapitre I : généralité sur les compresseurs

Chapitre II : généralité sur la maintenance.

Chapitre III : présente la partie calcul de l'étude analytique de la maintenance affriquée au compresseur GA 15.

Chapitre I

Généralité sur les Compresseurs

I.1.Introduction sur les compresseurs:

Un compresseur est une machine qui a pour fonction d'élever la pression du fluide compressible qui le traverse. Son nom traduit le fait que le fluide se comprime (son volume diminue) au fur et à mesure de l'augmentation de sa pression.

L'élévation de pression d'un gaz par un compresseur qui est utilisée pour atteindre un niveau de pression déterminé par des processus tels que

- Le stockage dans les cavités ;
- La liquéfaction ou la séparation ;
- Les cycles de réfrigération ;
- L'alimentation des réseaux d'air comprimé...etc. [1]

I.2. Définition :

Les compresseurs sont des appareils 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). [2]

I.3. Utilisation :

La compression en générale, 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.

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.
- Récupérer du gaz (unités de G.N.L ou autres). [2]

I.4. Classification des compresseurs :

Les compresseurs peuvent être classés selon plusieurs paramètres :

- Principe de fonctionnement (volumétriques, dynamiques) ;
- Mouvement des pièces mobiles (mouvement linéaire, rotatif) ;
- Les compresseurs d'air ;
- Les compresseurs des gaz.

En général il existe deux grandes familles de compresseur (Figure I.1), [1]

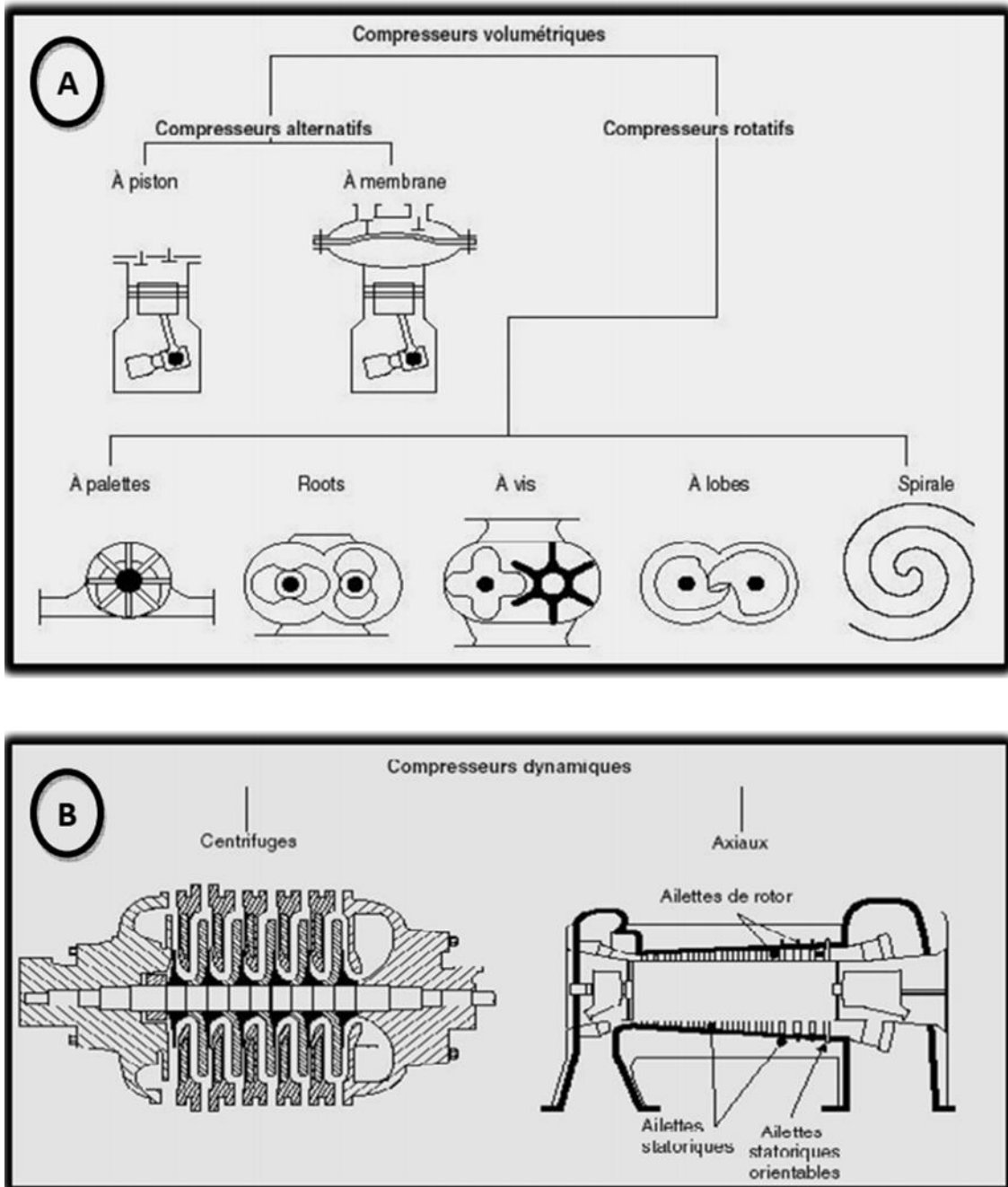


Figure (I.1) : Schéma des différents types de compresseur, [3]

I.4.1. Compresseurs volumétriques :

Les compresseurs volumétriques représentent une application directe de la loi de Boyle Mariotte.

Ils augmentent la pression de l'air en emprisonnant successivement des volumes d'air dans un espace fermé, en réduisant cet espace.

Les compresseurs qui utilisent ce principe de fonctionnement sont les compresseurs à pistons, à Palettes, à vis, à anneau. [4]

I.4.1.1. Compresseurs alternatifs :

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

On distingue deux types :

1. Compresseur à piston : (Système bielle manivelle ; Système à barillet)
2. Compresseur à membrane. [2]

a. Compresseurs à piston :

Ces compresseurs réalisent la compression du gaz par réduction du volume qui lui est offert. La variation du volume et le déplacement du gaz est obtenu par le mouvement alternatif d'un piston à l'intérieur d'un cylindre. On classe les compresseurs à piston d'après les différents indices:

- Disposition des cylindres (horizontale, verticale) ;
- Nombres des cylindres (monocylindrique, ...) ;
- Méthode de refroidissement (air, eau);
- Méthode de graissage (barbotage, sous pression,...). [2]

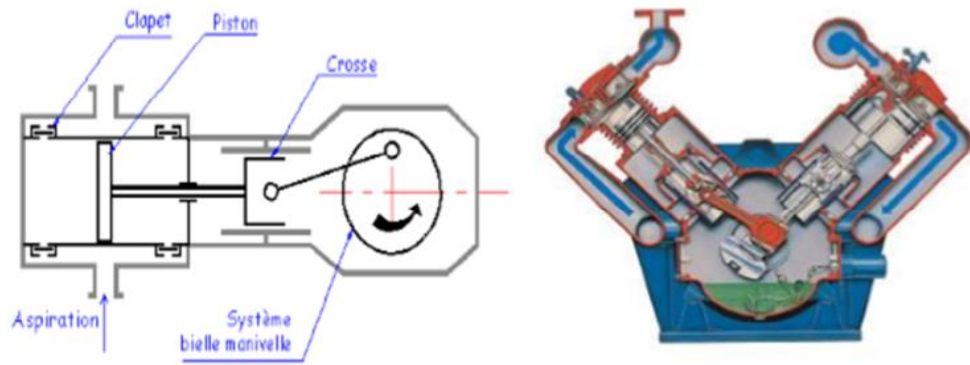


Figure (I.2): Compresseur à piston [3]

b. Compresseur à membrane :

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.

[1]

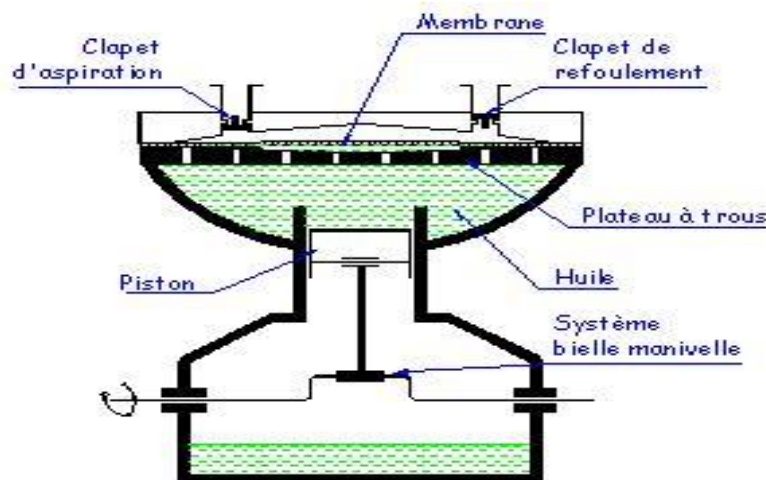


Figure (I.3) : Compresseur à membrane [1]

I.4.1.2. Les compresseurs rotatifs :

Ils sont de plusieurs types, dont le principe de fonctionnement fondamental est le suivant :

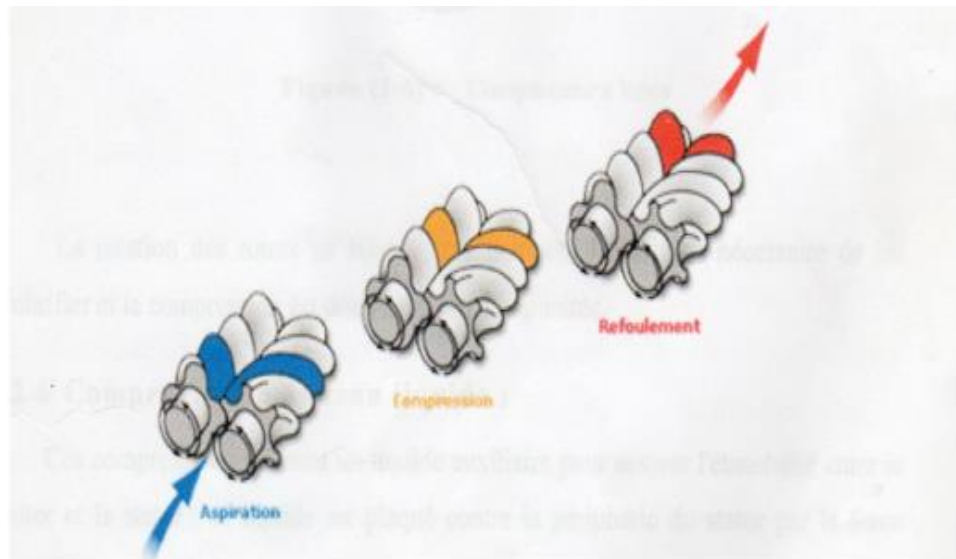
Le gaz est introduit dans un espace limité par le corps du compresseur et une partie de l'élément qui tourne (palettes, lobes, vis).

- Le gaz est transporté de l'aspiration au refoulement.
- Mise en contact avec le circuit à haute pression. [1]

a. Compresseur à vis :

Le compresseur à vis est un compresseur volumétrique dont les pistons se présentent sous forme de vis, C'est le modèle de compresseur le plus utilisé de nos jours. Les principales pièces de l'élément de compression à vis comprennent un rotor male et un rotor femelle qui tournent l'un vers l'autre tandis que le volume situé entre eux et le carter compresseur diminue. Le rapport de pression d'une vis dépend de la longueur et du profile de la vis d'une part, et de la forme de l'orifice de refoulement, d'autre part.

L'élément de compression à vis n'est équipé d'aucune soupape et il n'existe aucune force mécanique susceptible de créer un quelconque déséquilibre. [4]



Figure(I.4) : compresseur à vis [4]

a.1. Les types des compresseurs à vis :

-Vis lubrifiées:

De l'huile (préalablement refroidie) est injectée dans l'élément compresseur.

Avantage : l'huile permet un refroidissement en continu du processus de compression ce qui permet de n'avoir qu'un étage de compression jusqu' à une pression de service de 13 bar maxi.

-Vis non lubrifiées:

Au contraire le fait qu'il n'y ait pas d'huile refroidie dans le processus de compression va limiter le taux de compression par étage à 4 environ, et on devra utiliser 2 étages pour atteindre 7 bar. [19]

B. Compresseur à palettes

- Principe de fonctionnement

Dans un cylindre et autour d'un axe excentré tourne un rotor tangent au cylindre et pourvu de palettes radiales qui coulissent librement dans leur logement et sont constamment appliquées sur la paroi par la force centrifuge (Figure I.5). [6]

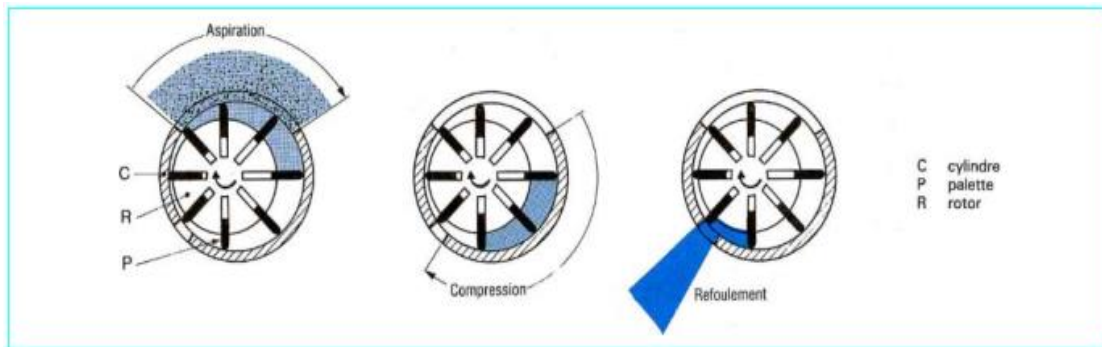


Figure (I.5) : Compresseur à palettes [6]

- Le volume compris entre deux palettes consécutives est variable.

On distingue trois phases :

- a. l'aspiration :** le volume de la cellule de compression 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.
- b. la compression :** le volume de la cellule de compression compris entre les deux palettes décroît régulièrement et provoque la compression du gaz.
- c. le refolement :** la cellule de compression se présente devant les lumières de refolement le gaz comprimé s'échappe dans le collecteur de sortie. [6]

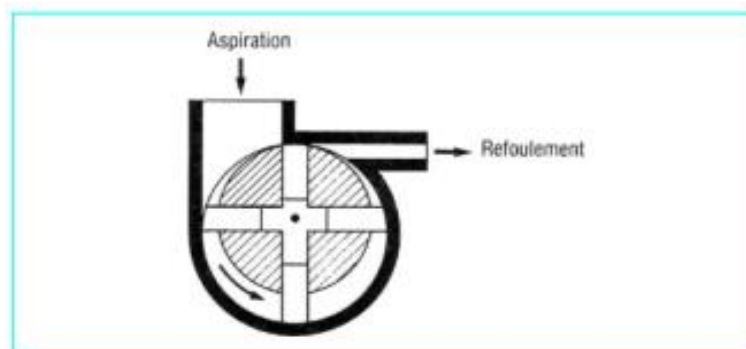


Figure (I.6) : Ancêtre des machines à palettes [6]

C. Compresseur à lobes (ROOTS) :

Pour ce type de compresseur, le rotor est formé de deux lobes (ayant la forme d'un huit) s'imbriquant l'un dans l'autre. Le mouvement de rotation des rotors est synchronisé par des pignons extérieurs. Il n'y a aucun contact entre le rotor ni entre le rotor et le carter. Le gaz à véhiculer arrive dans la tubulure d'aspiration et est transporté de force du côté du refoulement.

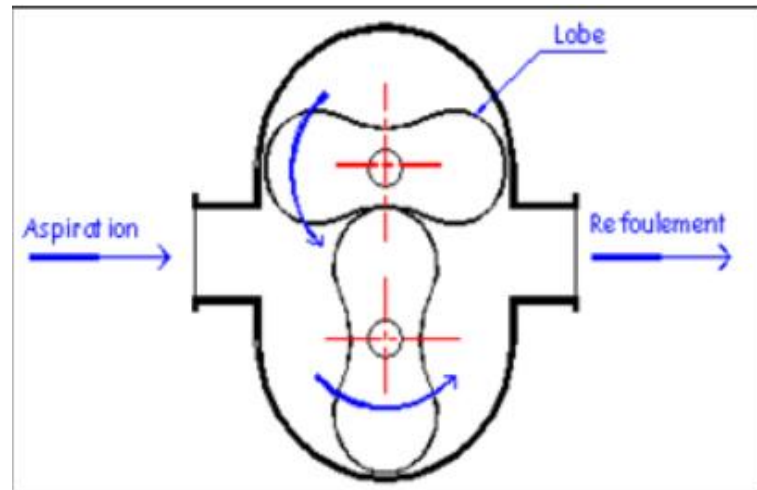


Figure (I.7) : Compresseur à lobes [2]

La rotation des rotors se faisant sans contact, il n'est pas nécessaire de les lubrifier et la compression est donc exempte d'impuretés. [4]

D. Compresseur à anneau liquide :

Ces compresseurs utilisent un liquide auxiliaire pour assurer l'étanchéité entre le rotor et le stator, ce liquide est plaqué contre la périphérie du stator par la force centrifuge reçue de la roue à ailettes.

Un étage de compression est composé des quatre éléments suivants :

- Une roue à ailette fixes montée sur l'arbre du compresseur. (2)
- Un corps cylindrique (stator) d'axe excentré par rapport à l'axe de rotation. (3)
- Deux disques (flasques(1) et (4) placés de part et d'autre du stator et portant chacun une ouverture (lumière ou ouïe) permettant l'entrée du gaz (lumière d'aspiration) et la sortie du gaz (lumière de refoulement).

Le fonctionnement du compresseur est illustré par la figure ci-dessous. [4]

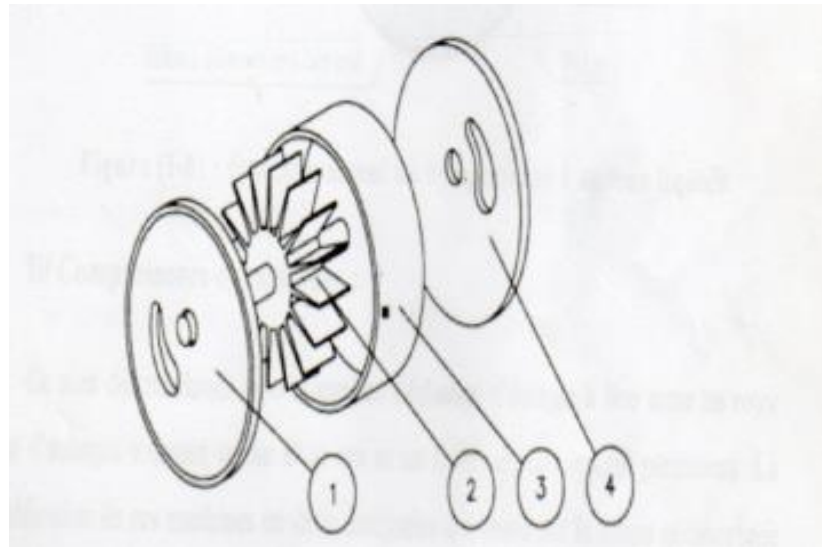


Figure (I.8) : Compresseur à anneau liquide [4]

Le liquide auxiliaire forme un anneau concentrique au corps. La roue étant excentrée. Des capacités de volumes variables sont générées entre deux ailettes et l'anneau liquide. En fonction du sens de rotation de la roue, la lumière d'aspiration est placée devant des capacités grandissantes : il se crée une dépression et donc l'aspiration du gaz : il est ensuite transporté (car emprisonné entre deux ailettes et le liquide) vers la lumière de refoulement qui, elle est placée devant des capacités qui diminuent de volume : il se crée donc une compression et le refoulement du gaz comprimé est possible. [4]

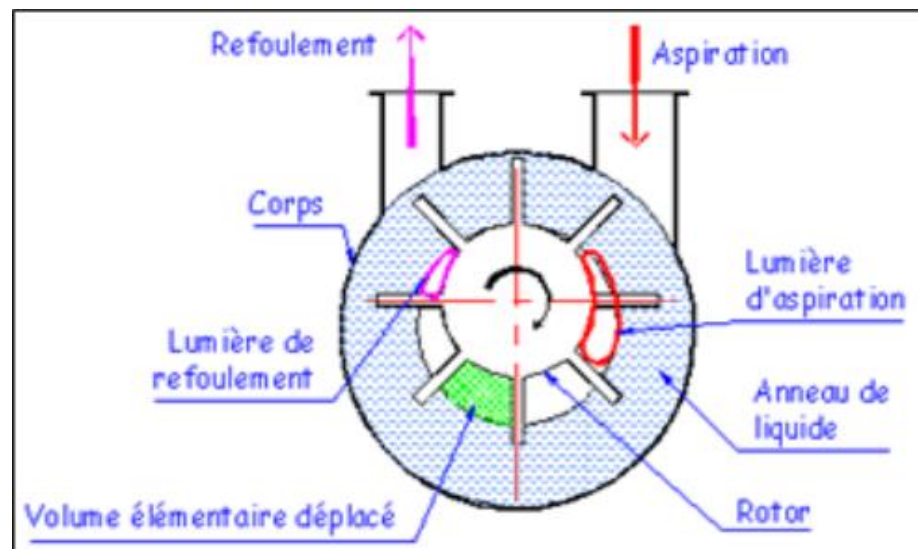


Figure (I.9) : Fonctionnement du compresseur à anneau liquide [2]

I.4.2. Compresseurs dynamiques :

Au point de vue de l'écoulement du fluide, les compresseurs dynamiques se divisent en machines axiales et centrifuges. [1]

I.4.2.1 Les compresseurs axiaux

Les compresseurs axiaux ne sont pas refroidis, la compression est faite sans échange de chaleur avec l'extérieur.

Ce sont des machines réceptrices à écoulement axial du fluide compressible, ils sont utilisés dans les turbines à grande puissance et dans les turboréacteurs d'aviation ; ils sont caractérisés par le nombre d'étages important et le taux de compression n'est pas élevé. [1]

I.4.2.2. Les compresseurs centrifuges

Le compresseur centrifuge est une machine "dynamique" à écoulement continu de fluide est schématisé sur la (figure I.10). Des roues solidaires à l'arbre fournissent de l'énergie à ce dernier. Une partie de cette énergie est transformée en augmentation de pression directement dans les roues, le reste dans le stator, c'est-à-dire dans le diffuseur.

Ce type de machine est constitué par un corps extérieur contenant la partie du stator dite ensemble de diaphragmes (B) où est introduit un rotor formé par l'arbre (C), une ou plusieurs roues (D), le piston d'équilibrage (E) et le collet (F) du palier de butée.

Le rotor entraîné par la machine motrice moyennant le moyeu (G) tourne sur les paliers porteurs (H) et est gardé dans sa position axiale par le palier de butée (I). Des dispositifs d'étanchéité à labyrinthe (L) et, si nécessaire, des étanchéités huile d'extrémité agissent sur le rotor. [1]

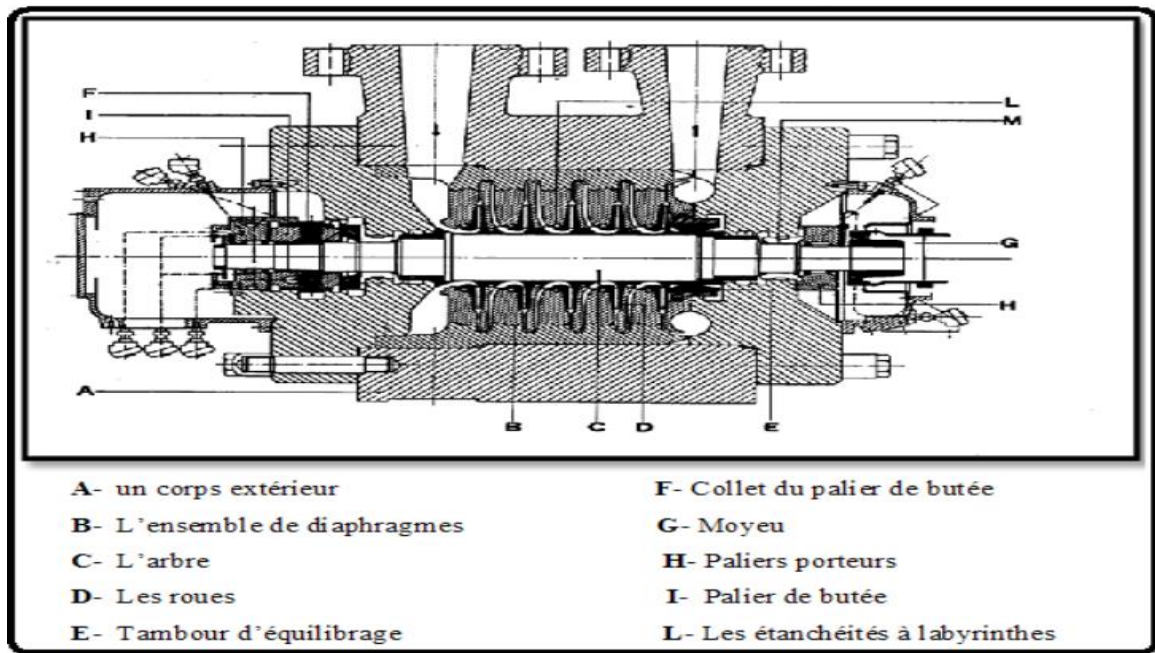


Figure (I.10): Compresseur centrifuge [7]

I.5. Domaine d'application et critères de choix des compresseurs :

Les applications des compresseurs sont très diversifiées, on donne quelques exemples d'utilisation de ces machines :

Production d'air comprimé ou gaz comprimé (air ou gaz instrument nettoyage de pièces, etc....).

- Compression et déplacement des gaz procédés.
- Asservissement des locaux (ventilation, climatisation, etc.....).
- Réinjection du gaz vers les puits.

Les critères de choix de compresseur dépendent des paramètres suivants :

- Qualité du gaz ;
- Propreté du gaz ;
- Nocivité du gaz ;
- Débit de gaz ;
- Pression (taux de compression).

I.6. Les avantages et les inconvénients de chaque type de compresseur :

Table (I.1): Les avantages et les inconvénients de chaque type de compresseur. [3]

Type de compresseur		Avantages	Inconvénients
Compresseurs volumétriques	Alternatifs	<ul style="list-style-type: none"> -Bien adaptés aux petits débits. -Peuvent véhiculer du gaz à toutes les pressions. -Relativement souple à exploiter. 	<ul style="list-style-type: none"> -Débit pulsé -Fiabilité moyenne au niveau des soupapes. -Obligation d'avoir une machines secours.
	à piston	<ul style="list-style-type: none"> -Peuvent véhiculer du gaz dans une large plage de débit. -Débit régulier. -Fiabilité Satisfaisante. -Débit plus régulier que les compresseurs Alternatifs. 	<ul style="list-style-type: none"> -Pas appliqué Aux hautes pressions (maxi 50 Bars).
Compresseurs dynamiques	Centrifuge	<ul style="list-style-type: none"> -Bien adaptés aux moyens et grands débits de gaz. -Relativement Souple à exploiter -Excellent fiabilité. 	<ul style="list-style-type: none"> -Pas adapté aux faibles débits. -Pompage à faible débit rend. l'exploitation délicate. -Prix élevé.
	Axiaux	<ul style="list-style-type: none"> -Très bon rendement. -Bien adaptés aux très grands débits et aux pressions modérées. -Excellent fiabilité. 	<ul style="list-style-type: none"> -Rotors de grande taille délicats à construire et couteux.

I.7. Compresseur a vis lubrifiées : atlas copco GA15 :

I.7.1. Les composantes de compresseur GA15 :

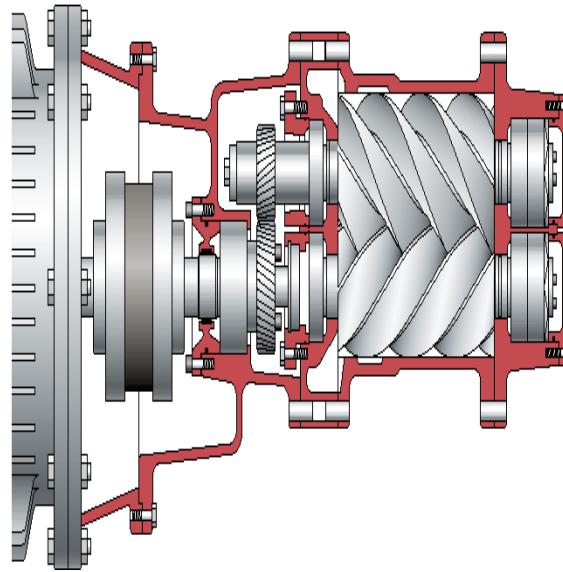
- Structure de l'élément compresseur :
 - Rotors (ou « vis »).
 - Roulements.
 - Carters.
 - Engrenage d'entraînement ou poulie d'entraînement afin d'obtenir la vitesse de rotor requise.
- Rotors : Le rotor mâle comporte 4 lobes hélicoïdaux espacés de 90°, le rotor femelle comporte 6 cannelures hélicoïdales espacées de 60°.

Le rapport d'entraînement du rotor mâle et du rotor femelle étant de 4 à 6, le rotor mâle tourne donc une fois et demie plus vite que le rotor femelle.

Le rotor mâle tournant le plus vite, c'est lui qui est entraîné par l'engrenage (ou la poulie d'entraînement), le rotor femelle est entraîné par le rotor mâle via le film d'huile. Les 2 rotors tournent en sens inverse Contrairement aux compresseurs à vis non lubrifiées, des pignons de synchronisation ne sont pas nécessaires. [19]



Figure(I.11): Compresseur a vis atlas copco GA15 [19]



Figure(I.12) : Elément de compresseur GA [19]

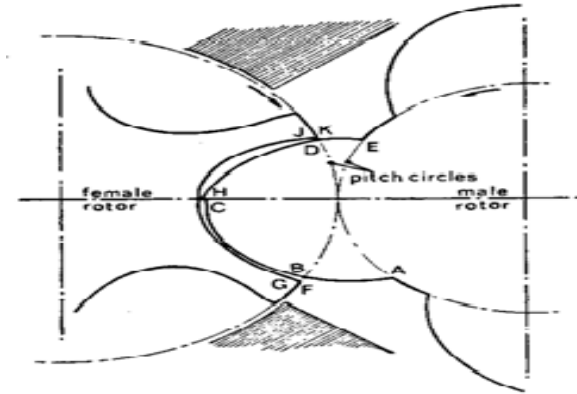
- **Le débit d'un compresseur dépendra de :**
 - La taille de l'élément compresseur (diamètre et longueur).
 - La vitesse de rotation de l'élément compresseur.
- **La puissance absorbée par le compresseur dépendra :**
 - Du débit de l'élément compresseur.
 - De la pression de refoulement (liée au réseau placé en aval).

La vitesse de rotation de l'élément compresseur dépendra du moteur choisi (en général moteur asynchrone triphasé 2 pôles 3000 t/mn jusqu' à 75 KW, 4 pôles 1500 t/mn au delà) et du rapport de multiplication/ démultiplication choisi qui sera donné par le jeu de poulies (jusqu' au GA 22) ou par le jeu de pignons (à partir du GA 30). [19]

I.7.2. Le profile asymétrique :

- **Rotor a vitesse de rotation modérée :**
 - Grande durée de vie des roulements.
 - Réduction de l'usure.
 - Faibles pertes mécaniques.
- **Meilleure étanchéités : 3 points :**
 - (D, C et G) au lieu d'une surface.
 - Faible pertes volumétriques.
 - Haut rendement.

- **Points de contact des rotors coïncident avec la ligne d'engrènement :**
 - Réduction du jeu entre rotors.



Figure(I.13) : Ensemble de rotors [19]



Figure(I.14) : Asymétrique profile [19]

I.7.3. Principe du circuit d'huile :

Dans le réservoir d'air/séparateur d'huile, de l'air à la pression de refoulement force l'huile vers le réfrigérant d'huile, le filtre à huile et via le clapet d'arrêt d'huile (lorsqu'il est présent) vers l'élément compresseur.

L'huile est alors distribuée vers :

- La chambre de compression.
- Le carter d'engrenages.
- Le carter de roulements de sortie.
- **Chambre de compression :** Grâce aux orifices placés dans la chambre de compression, l'huile est projetée sur les rotors. L'huile est mélangée à l'air par le flux d'air et la vitesse de rotation des rotors.

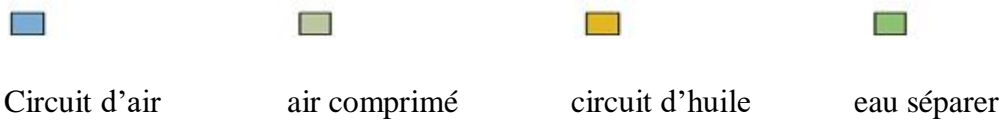
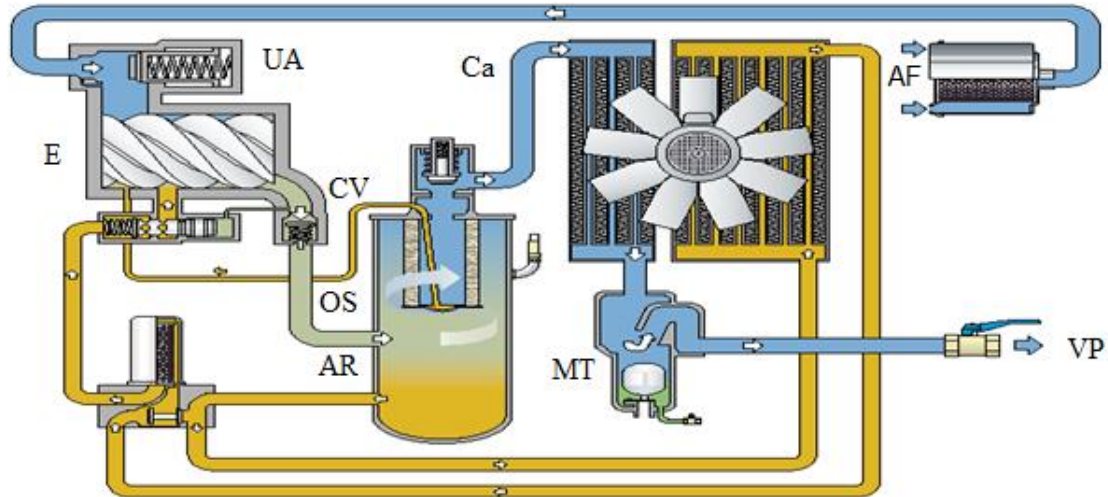
Au contact de l'air, l'huile absorbe une grande partie de la chaleur due à la compression ; cette chaleur sera évacuée par le réfrigérant d'huile.

Le reste de la chaleur de compression absorbé par l'air comprimé est évacué par le réfrigérant final.

Les fonctions de l'huile dans la chambre de compression sont :

- La lubrification des rotors.
- Le refroidissement des rotors et du carter ainsi que la dissipation de la chaleur de compression de l'air.
- L'étanchéité entre les deux rotors.

- Rôle de l'huile :
 - Lubrification.
 - Etanchéité.
 - Refroidissement. [19]



Figure(L15) : schéma de la compresseur ATLAS-COPCO GA15

a. Circuit d'air :

Le système comprend :

- AF : Filtre à air
- UA : Tête d'aspiration
- E : Elément compresseur
- CV : Clapet anti-retour
- AR : Réservoir d'air
- OS : Séparateur d'huile
- VP : Vanne ou soupape minimum de pression
- Ca : Réfrigérant final
- MT: Séparateur d'eau et purgeur de condensats

L'air est aspiré à travers le filtre à air (AF) et la tête d'aspiration (UA) puis comprimé dans l'élément compresseur(E).

Après passage au travers du clapet anti-retour (CV) qui empêche tout retour lors de l'arrêt du compresseur, l'air comprimé et l'huile vont dans un réservoir séparateur (AR) où la majeure partie de l'huile (90%) est séparée par centrifugation.

La filtration est parachevée par un filtre séparateur (OS).

Le réservoir séparateur est équipé d'une soupape à minimum de pression (VP) qui permet d'assurer la circulation de l'huile quelle que soit la demande d'air en aval (elle reste fermée tant que la pression interne n'atteint pas 3 à 4 bar).

L'air est ensuite refoulé vers le réfrigérant final où sa température est descendue jusqu'à environ 10° C au-dessus de l'air ambiant.

Un séparateur d'eau, installé après le réfrigérant final, recueille les condensats qui sont évacués par un purgeur automatique, qui est doublé d'une purge manuelle. [19]

b. Circuit d'huile :

Le système comprend :

- Co : Réfrigérant d'huile
- BV : Vanne thermostatique (by-pass du réfrigérant d'huile)
- OF : Filtre à huile
- Vs : Clapet d'arrêt d'huile
- AR : un réservoir d'air

La circulation de l'huile est forcée par la pression de l'air dans le réservoir séparateur.

Cette pression est toujours suffisante grâce à la soupape minimum de pression.

Le système ne comporte pas de pompe à huile.

L'huile est séparée de l'air par centrifugation dans le réservoir d'air, puis par l'élément séparateur.

La pression d'air refoule l'huile du réservoir d'air/séparateur vers l'élément compresseur au travers du réfrigérant d'huile, le filtre à huile et le clapet d'arrêt d'huile.

L'huile injectée dans l'élément compresseur, assure le refroidissement, l'étanchéité et le graissage des rotors.

- Les roulements et pignons d'entraînement sont graissés par l'huile injectée dans le carter d'engrenages.
- L'huile injectée dans l'élément compresseur, mélangée à l'air comprimé, sort ensuite de l'élément, via le clapet anti-retour (CV), et entre dans le réservoir d'air/huile (AR), d'où elle est séparée par centrifugation.

- L'huile accumulée au fond du séparateur est renvoyée vers l'élément compresseur par le système de respiration.
- Un clapet d'arrêt stoppe l'arrivée de l'huile vers l'élément lors de l'arrêt du compresseur. En fonctionnement, son ouverture est pilotée par la pression au refoulement de l'élément compresseur. Son ouverture est proportionnelle à la pression au refoulement de cet élément compresseur.

La vanne thermostatique (vanne de by-pass du réfrigérant d'huile BV) permet d'une part le réchauffage rapide de l'huile au démarrage et d'éviter tout risque de condensation dans le réservoir d'air/huile (AR) en maintenant l'huile à une température minimum, exemple 40°C.
[19]

I.8. Conclusion :

Le compresseur mécanique est un équipement destiné à augmenter par un procédé uniquement mécanique la pression d'un gaz, il aspire l'air nécessaire et le comprime à la pression désirée. Son rôle est de fournir de l'air à haute pression non toxique.

Chapitre II

Généralité sur la Maintenance

II.1. Introduction :

La maintenance joue un rôle de plus en plus important dans la productivité de l'entreprise. La maintenance n'a plus pour seule vocation d'assurer le bon fonctionnement.

Dans ce chapitre, nous allons tout d'abord rappeler quelques notions et généralités sur la maintenance; définition, rôle, objectifs, et type de maintenance. Nous présenterons en suite une étude théorique sur le concept FMD en ce basant sur les lois et les méthodes utilisées dans ce domaine.

II.2. La maintenance :

II.2.1. Définition de la maintenance :

D'après la norme AFNOR X 60-000, la maintenance est l'ensemble de tous les actions techniques, administratives et de managements durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise.

II.2.2 Les objectifs de la maintenance :

Le but essentiel de la maintenance est le maintien au meilleur niveau de performance et de service des équipements industriels, et ceci au moindre coût, afin de garantir à l'entreprise la disponibilité optimale de son outil de production.

On peut citer les objectifs suivants de la maintenance :

- Garantir la production prévue.
- Améliorer la qualité du produit.
- Contribuer au respect des délais.
- Rechercher des coûts optimums.
- Assurer la sécurité des travailleurs et le milieu de travail.
- Respecter l'environnement.
- Economiser l'énergie. [13]

II .2.3. La stratégie de maintenance :

La stratégie de maintenance est une méthode de management utilisée en vue d'atteindre les objectifs de maintenance (NF EN 13306 & FD X 60-000). Le choix d'une stratégie de maintenance permet d'atteindre un certain nombre d'objectifs de maintenance:

- Développer, adapter ou mettre en place des méthodes de maintenance ;

- Elaborer et optimiser les gammes de maintenance ;
- Organiser les équipes de maintenance ;
- Internaliser ou externaliser partiellement ou totalement les taches de maintenance;
- Définir, gérer et optimiser les stocks se pièces de rechange et de consommable. [13]

II.2.4. Les niveaux de maintenance :

Pour faciliter principalement la gestion des personnels affectés à la maintenance, on définit :

- **niveau 1** : réglages simples sans démontage, rondes et surveillance pendant la marche.
- **niveau 2** : dépannage par échange standard d'éléments prévus à cet effet et opérations mineures.
- **niveau 3** : identification et diagnostic de pannes, réparation ou remplacement d'éléments fonctionnels.
- **Niveau 4** : travaux de maintenance corrective ou préventive nécessitant des démontages importants.
- **niveau 5** : rénovation, reconstruction, modifications importantes faisant appel à une main-d'œuvre qualifiée. [16]

II.2.5. Les différentes formes de la maintenance :

Il existe deux façons complémentaires d'organiser les actions de maintenance

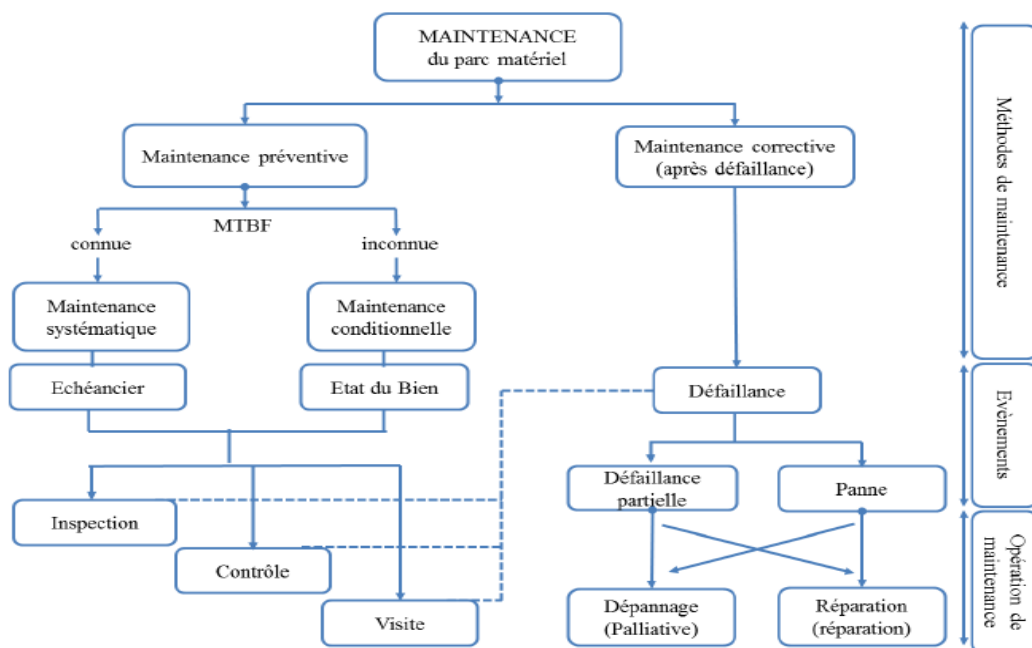


Figure (II.1) : Organigramme synthétique [12]

II.2.5.1. Maintenance préventive:

Maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinés à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien, elle est subdivisée en :

a. Maintenance conditionnelle :

Maintenance préventive basé sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement et intégrant les actions qui en découlent.

b. Maintenance prévisionnelle :

Maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètre significatifs de la dégradation du bien.

c. Maintenance systématique :

Maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unité d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien.

II.2.5.2. Maintenance corrective :

Maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise.

a. Maintenance palliative : Caractérise les actions de dépannage : remise en état provisoire.

b. Maintenance curative : Caractérise les actions de réparation au sens de « guérir ». [07]

II.2.6. Les opérations de la maintenance:

a. Le dépannage :

C'est une action ou opération de maintenance corrective sur un équipement en panne en vue la remettre en état de fonctionnement.

b. La réparation :

C'est une intervention définitive et limitée de maintenance corrective après panne ou défaillance. L'équipement réparé doit assurer les performances pour lesquelles il a été conçu.

c. Les inspections :

Ce sont des activités de surveillance consistant à relever périodiquement des anomalies et exécuter des réglages simples ne nécessitant pas d'outillage spécifique ni d'arrêt de l'outil de production ou des équipements. [07]

d. Les visites :

Ce sont des opérations de surveillance qui dans le cadre de la maintenance préventive systématique, s'opèrent selon une périodicité prédéterminée. [07]

e. Les contrôles :

Ils correspondent à des vérifications de conformité par rapport à des données préétablies suivis d'un jugement.

Le contrôle peut, comporter une activité d'information, inclure une décision, acceptation, rejet ajournement, déboucher comme les visites sur des opérations de maintenance corrective. [07]

f. Les révisions :

Ensemble des actions d'exams, de contrôle des interventions effectuées en vue d'assurer le bien contre toute défaillance majeure ou critique, pendant un temps ou pour un nombre d'unités d'usage donné. [07]

II.2.7. Les temps de maintenance :

Le temps de la maintenance se définit comme la moyenne des temps techniques de fonctionnement, réparation et arrêt. On distingue :

La TTR : Temps Technique de Réparation. [14]

La TBF : Temps de bon fonctionnement. [14]

La TTA : temps techniques d'arrêt.

La MTBF: C'est la moyenne des temps de bon fonctionnement (TBF). Le temps de bon fonctionnement est le temps compris entre deux défaillances. [14]

La MTTR : C'est la moyenne des temps techniques de réparation (TTR). Le TTR est le temps durant lequel on intervient physiquement sur le système défaillant. Il débute lors de la prise en charge de ce système jusqu'après les contrôles et essais avant la remise en service. [14]

La MTTF : C'est le temps moyen avant la prochaine défaillance, elle est comparable à la MTBF.[14]

La MTTA :C'est la moyenne des temps techniques d'arrêt (TTA). Les temps techniques

d'arrêt sont une partie des temps d'arrêt que peut connaître un système de production en exploitation. Ils ont pour cause une raison technique. [14]

II.3. Méthode ABC (Diagramme Pareto)

II.3.1. Diagramme de Pareto:

Le diagramme de Pareto est un outil statistique qui permet d'identifier l'importance relative de chaque catégorie dans une liste d'enregistrements, en comparant leur fréquence d'apparition.

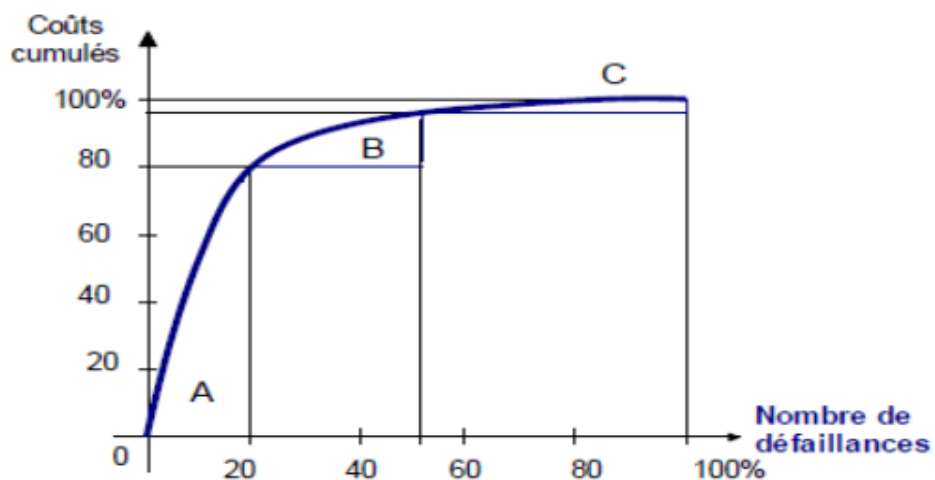


Figure (II.2) : Diagramme de Pareto ou courbe ABC [18]

On observe trois zones.

1. **Zone A** : 20% des pannes occasionnent 80% des coûts;
2. **Zone B** : les 30% de pannes supplémentaires ne coûtent que 15% supplémentaires;
3. **Zone C** : les 50% de pannes restantes ne concernent que 5% du coût global;

Il est évident que la préparation des travaux de maintenance doit porter sur les pannes de la zone A. toujours de façon claire. [18]

II.3.2. Définition de la méthode ABC:

La méthode ABC est un moyen objectif d'analyse, elle permet de classer les éléments qui représentent la fraction la plus importante du caractère étudié, en indiquant les pourcentages pour un caractère déterminé. [18]

II.3.3. But de la méthode ABC :

L'exploitation de cette loi permet de déterminer les éléments les plus pénalisants afin d'en diminuer leurs effets:

- Diminuer les couts de maintenance.
- Améliorer la fiabilité des systèmes. Justifier la mise en place d'une politique de maintenance. [18]

II.4. Etude de la fiabilité

II.4.1 Notion de fiabilité d'un système

Un système peut être défini comme un ensemble de composants interdépendants, conçus pour réaliser une fonction donnée, dans des conditions données et dans un intervalle de temps donné, pour chaque système, il importe de définir clairement les éléments qui le caractérisent, à savoir : la fonction, la structure, les conditions de fonctionnement, les conditions d'exploitation, et l'environnement dans lequel il est appelé à opérer. [11]

II.4.2 Définition

D'après la norme (NORME X60—500). La fiabilité est l'aptitude (la probabilité) d'une entité à accomplir une fonction requise pendant un intervalle de temps donné, dans des conditions données. [11]

II.4.3. Objectifs de la fiabilité

La fiabilité a pour objectif de :

- Mesurer une garantie dans le temps ;
- Evaluer rigoureusement un degré de confiance ;
- Déchiffrer une durée de vie ;
- Evaluer avec précision un temps de fonctionnement ;
- Déterminer la stratégie de l'entretien ;
- Choisir le stock. [11]

II.4.4. 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 binomiale
- La loi de POISSON ou loi de faibles probabilités [11]

II.4.5. 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 weibull dépend des trois paramètres suivants : β , γ et η . [16]

Préparation des données :

1. Calcul des Temps de bon fonctionnement
2. Classement des temps de bon fonctionnement en ordre croissant
3. N = nombre de Temps de bon fonctionnement
4. Recherche des données $F(i)$, $F(i)$ représente la probabilité de panne au temps correspondant au Temps de bon fonctionnement de l'ième défaillant.

On a 3 cas différents :

1- Si $N > 50$, regroupement des Temps de bon fonctionnement par classes avec la fréquence cumulée :

$$F(i) = \frac{Ni}{N} = \frac{\sum Ri}{N} \approx F(t)$$

2- Si $20 < N < 50$, On affecte un rang "Ni" à chaque défaillance (approximation des rangs moyens)

$$F(i) = \frac{Ni}{N+1} \approx F(t)$$

3- Si $N < 20$, On affecte un rang "Ni" à chaque défaillance (approximation des rangs médians):

$$F(i) = \frac{Ni-0,3}{N+0,4} \approx F(t) \quad (\text{II.1})$$

Et on fait le Tracé du nuage des points M (F(i), t) : [16]

II.4.5.1. La loi de Weibul

a. La densité de probabilité

La densité de probabilité d'une loi de weibull a pour expression

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

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

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

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

b. La fonction de répartition

La fonction de répartition s'écrit :

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

c. La fonction de fiabilité R(t)

La fonction de fiabilité s'écrit

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

d. Le taux de défaillance (Taux d'avarie)

Le taux de défaillance donné par :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1-F(t)} = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \frac{1}{e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}} \Rightarrow$$

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (II.5)$$

Avec $\lambda(t)$ taux de défaillance de la pièce d'âge t .

On a donc : $\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$

$\lambda(t)$ S'exprime également par l'inverse d'un temps, mais n'est pas une densité de probabilité.

[16]

Paramètre de forme β

- 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

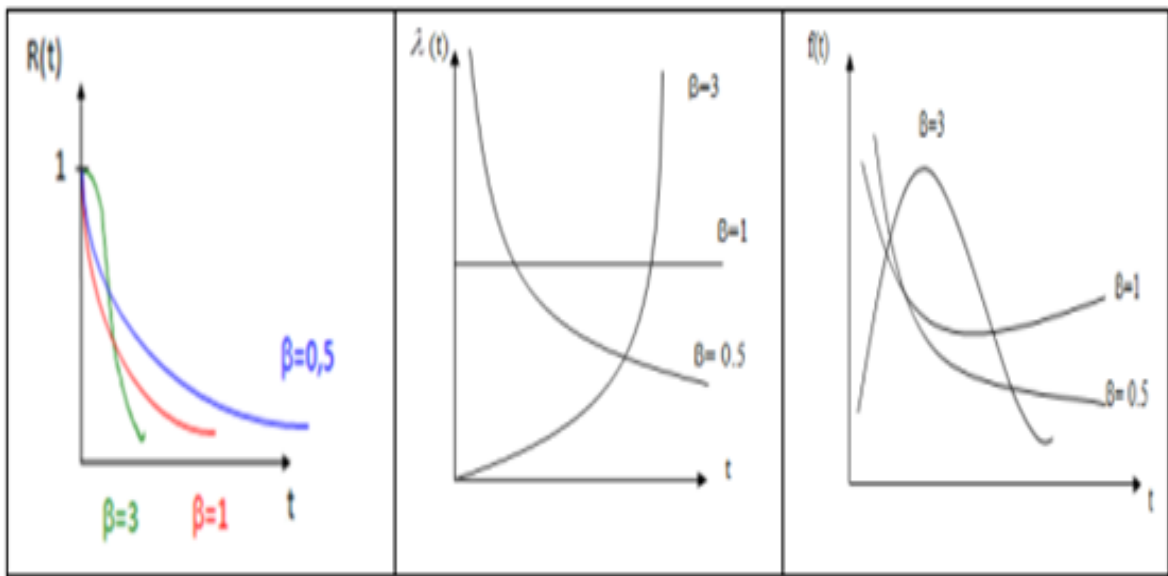


Figure (II.3) : variation (β) en fonction de temps et de $R(t) - \lambda(t) - f(t)$ [11]

II .4.6. Estimation des paramètres du modèle de WEI BULL

Un des problèmes essentiel est l'estimation des paramètres (β, η, γ) de cette loi, pour cela, nous disposons de la méthode suivante :

a. Graphique à échelle fonctionnelle :

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 $\ln (- \ln (1 - F(t)))$. [17]

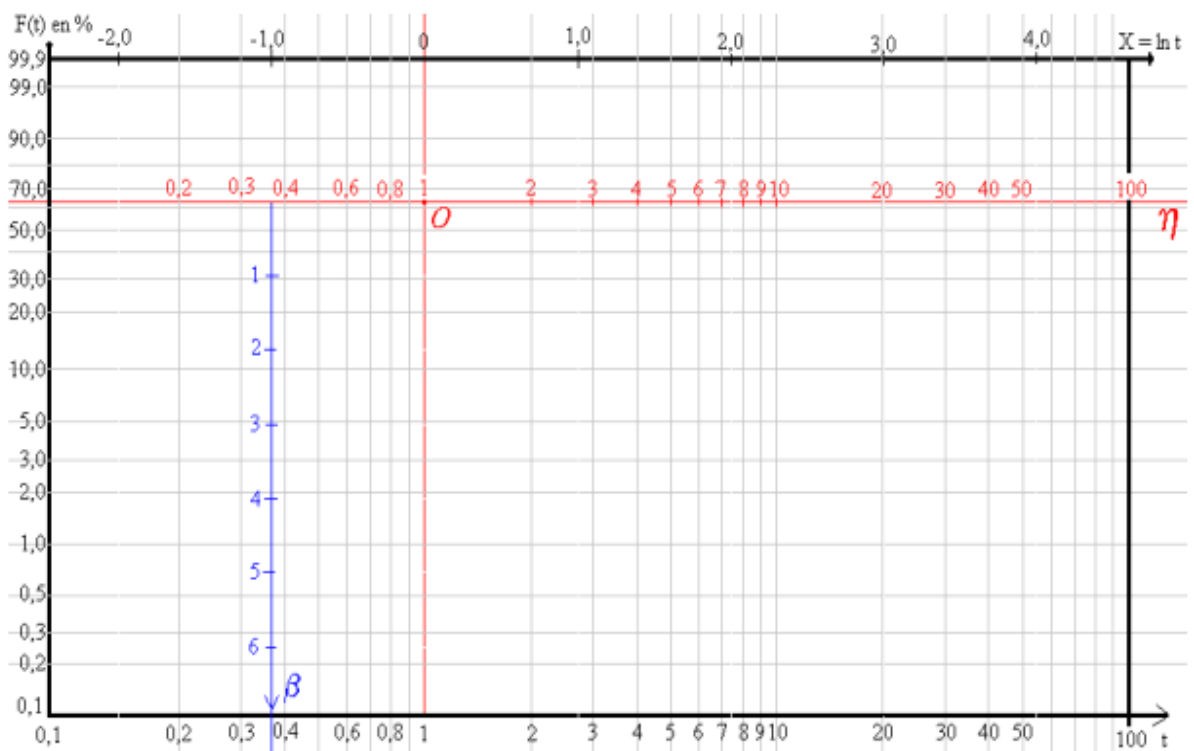


Figure (II.4) : Papier de Weibull. [17]

a. Recherche de γ :

Si le nuage de points correspond à une droite, alors $\gamma = 0$. ($\gamma = 0$)

Si le nuage de points correspond à une courbe, on la redresse par une translation de tous les points en ajoutant ou en retranchant aux abscisses "t", une même valeur (γ) afin d'obtenir une droite comme le montre la figure suivante. [16]

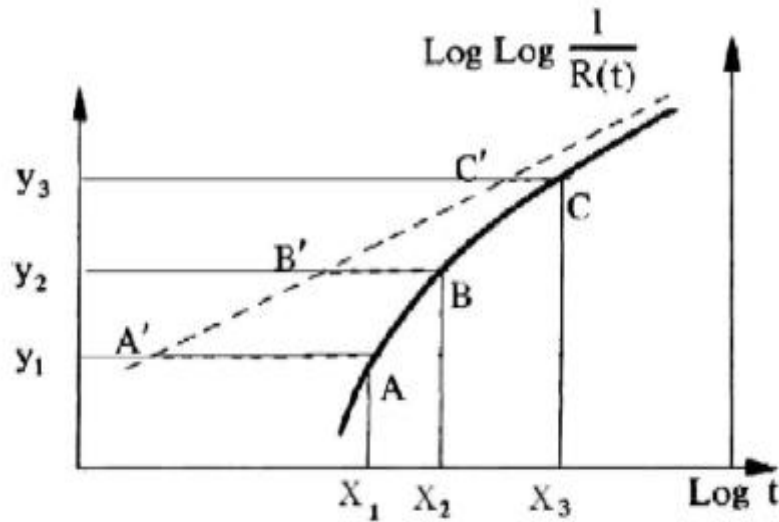


Figure (II.5): redressement de la courbe par translation. [11]

Ce redressement peut se faire par tâtonnement ou avec la relation :

$$\gamma = \frac{X_3 * X_1 - X_2^2}{X_3 + X_1 - 2X_2} \quad (\text{II.6})$$

Considérons les points :

$A(X_1, Y_1); B(X_2, Y_2); (X_3, Y_3)$

$$\text{Et } \begin{cases} Y^3 > Y^2 > Y^1 \\ 2Y_2 = Y_1 + Y_3 \end{cases}$$

En arrangeant on obtient

$$\gamma = X_2 - \frac{(X_3 - X_2) * (X_2 - X_1)}{(X_3 - X_2) - (X_2 - X_1)}$$

b. Recherche de η :

La droite de régression linéaire coupe l'axe A à l'abscisse $t = \eta$.

c. Recherche de β :

- β est la pente de la droite de corrélation.

- On trace une droite parallèle à la droite de corrélation, et passant par $\eta = 1$ On lit ensuite β sur l'axe B. [16]

II .4.7. La maintenabilité :

La maintenabilité est « l'aptitude d'un dispositif à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il peut accomplir sa fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions, avec des procédures et des moyens précis ».

La maintenabilité caractérise la facilité de remettre ou de maintenir un bien en bon état de fonctionnement. [16]

La maintenabilité est caractérisée par la moyenne des temps techniques de réparation MTTR [16]

$$MTTR = \frac{\Sigma \text{Temps d'intervention pour n pannes}}{\text{Nombre de pannes (n)}} \quad (\text{II.7})$$

$$MTTR = \frac{\Sigma TTR}{N}$$

MTTR : (Mean Time To Repair) ou encore Moyenne des Temps Techniques de Réparation.

II .4.7.1. Taux de réparation μ :

La probabilité de réparation d'un composant est principalement fonction du temps écoulé depuis l'instant de défaillance. Il existe un certain délai t avant que le composant puisse être réparé. Ce délai t comprend le temps de détection et le temps d'attente de l'équipe de réparation. [16]

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \quad (\text{II.8})$$

II .4.8. La disponibilité :

La disponibilité est « l'aptitude d'un bien, sous les aspects combinés de sa fiabilité, maintenabilité et de l'organisation de la maintenance, à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions de temps déterminées ».

Pour qu'un équipement présente une bonne disponibilité, il doit :

- avoir le moins possible d'arrêts de production;
- être rapidement remis en état s'il est défaillant;

La disponibilité relie donc les notions de fiabilité et de maintenabilité. [16]

II .4.8.1. Les types de disponibilité :

a. disponibilité intrinsèque : cette disponibilité est évaluée en prenant en compte les moyennes de bon fonctionnement et les moyennes de réparation, ce qui donne [16]

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \quad (\text{II.9})$$

b. disponibilité instantanée :

Pour un système avec l'hypothèse d'un taux de défaillance λ constante et d'un taux de réparation μ constant, la disponibilité instantanée est: [16]

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

II.5.Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté des généralisations sur la maintenance des compresseurs et la définition des concepts de base de cette maintenance par le calcul de la fiabilité, la maintenabilité, la disponibilité. Nous avons parlé également objectifs et les intérêts de la maintenance dans le domaine industriel, ainsi que la méthode ABC.

Chapitre III

Partie Calcul de L'étude Analytique de la Maintenance

III.1.Introduction

Positionner la maintenance au sein de l'appareil de production est un exercice difficile, comme il est toujours difficile de faire simple dans un environnement complexe. C'est l'objectif du dernier chapitre où on tente par l'exploitation de l'historique de panne de la compresseur ATLAS-COPCO GA 15 de faire face à l'étude expérimentale des indicateurs FMD de telle compresseur tout en traçons les courbes de ces trois indicateurs.

Pour mener une étude structurée de base scientifique, nous avons fait appel la méthode ABC pour déterminer la cause critique des compresseurs, pour l'analyse des modes de défaillances.

III. 2. Exploitation de l'historique :

L'historique de panne (le compresseur ATLAS-COPCO GA 15).

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

Tableau(III.1) : L'historique de panne de compresseur ATLAS-COPCO GA15 [19]

N°	Date de démarrage	Date d'arrêt	TBF (h)	TTR (h)	Organe	Action
01	12/09/2003	27/05/2010	58776	04	Contacteur de puissance	Changement de Contacteur
02	27/05/2010	23/10/2011	12332	01	Fusible 16A-2A	Changement Fusible
03	23/10/2011	17/03/2014	21023	24	Tête d'aspiration	Changement tête d'aspiration
04	18/03/2014	04/12/2014	6264	72	Roulement de moteur	Changement de roulement
05	07/12/2014	18/11/2015	8304	120	Température d'élément de compression MAX 120°C	Démontage et équilibrage la vis de compression
06	23/11/2015	08/02/2016	1848	24	Ventilateur de refroidissement	Changement de Ventilateur
07	09/02/2016	11/05/2016	2208	96	Refroidisseur d'air	Changement compresseur de gaz
08	15/05/2016	20/06/2016	864	24	radiateur de refroidissement	Nettoyage radiateur de refroidissement
09	21/06/2016	30/08/2016	1668	120	Température d'élément de compression MAX 120°C	Démontage et équilibrage la vis
10	06/09/2016	06/10/2016	720	24	radiateur de refroidissement	Nettoyage radiateur de refroidissement
11	07/10/2016	15/12/2016	1656	312	Elément de compression	Changement Elément de compression
12	22/04/2018	21/05/2018	696	03	disjoncteur électrique	mauvais serrage

III. 3.La méthode : « ABC (Pareto)» :

Pour l'application de la méthode ABC, il faut en premier lieu faire un classement des pannes par ordre décroissant des heures des pannes puis procéder à l'établissement d'un graphe de Pareto.

Tableau (III.2) : L'analyse ABC (Pareto)

N°	Organe	TTR (h)	Cumul TTR	TTR %	Nombre de panne	Cumulées des pannes	Cumulées de pannes%
01	Elément de compression	312	312	45.88	1	1	8.33
02	Température d'élément de compression MAX 120 °C	120	432	63.53	2	3	25
3	Refroidisseur d'air	96	528	77.65	1	4	33.33
04	Roulement de moteur	72	600	88.24	1	5	41.66
05	Radiateur de refroidissement	24	624	91.76	2	7	58.33
06	Ventilateur de refroidissement	24	648	95.29	1	8	66.66
07	Tête d'aspiration	24	672	98.82	1	9	75
08	Contacteur de puissance	04	676	99.41	1	10	83.33
09	Disjoncteur électrique	03	679	99.85	1	11	91.66
10	Fusible 16A-2A	01	680	100	1	12	100

III.3.1. La Courbe de Pareto :

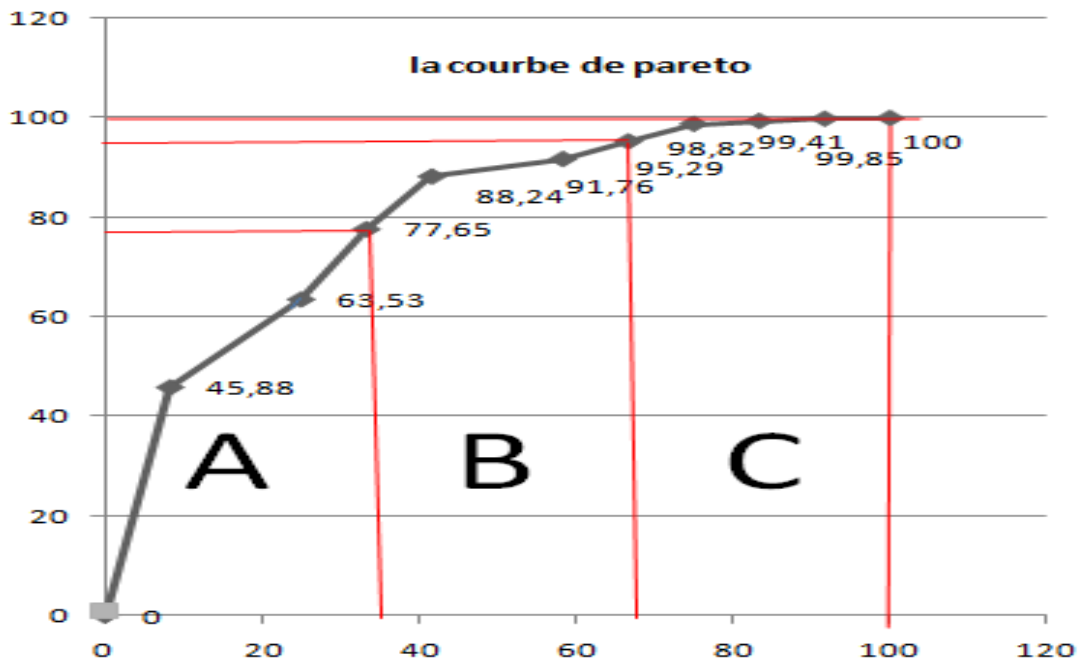


Figure (III.1) : La Courbe de Pareto

III. 3.2. Interprétation des résultats :

- Zone "A":

Dans la majorité des cas, on constate que environ 33.33 % des heures d'arrêt représente 77.65% des pannes, ceci constitue la zone A, zone des priorités (Elément de compression et Température d'élément de compression MAX 120C° et Refroidisseur d'air).

- Zone "B":

Dans cette zone, les 33.33 % des heures d'arrêt représentent 17.64 % supplémentaire des pannes (Roulement de moteur et radiateur de refroidissement et Ventilateur de refroidissement).

- Zone "C":

Dans cette zone les 33.34 % des heures d'arrêt restantes ne représentent que 4.71 % des pannes (Tête d'aspiration et Contacteur de puissance et Disjoncteur électrique et Fusible 16A-2A).

III. 4. Calcul les paramètres de weibull :

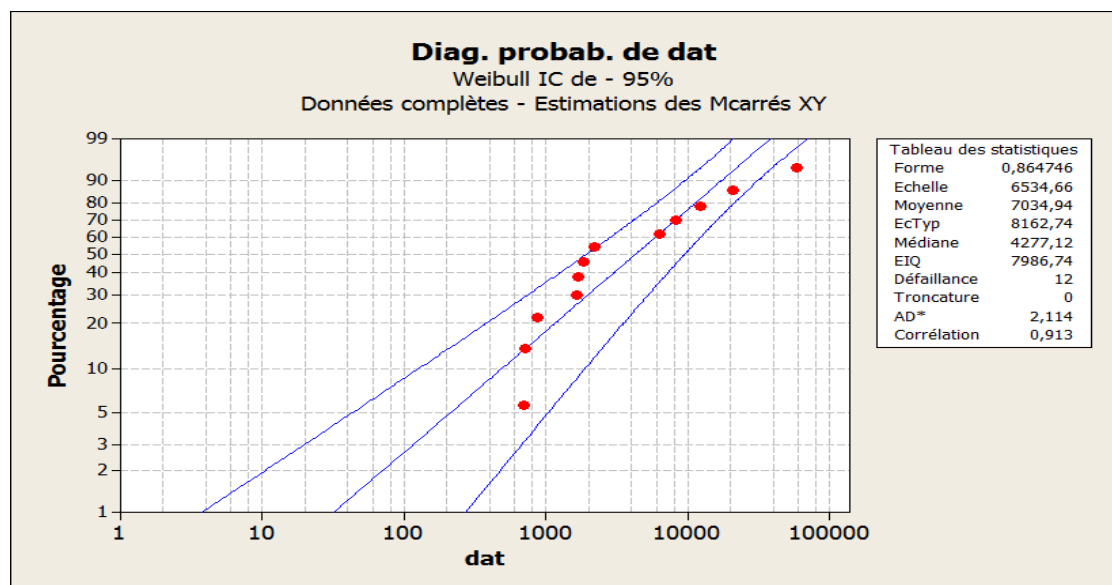
Le tableau suivant comporte les TBF classés par ordre croissant, et les F(i) calculés par la méthode des rangs médians. $F(i) = \frac{Ni-0,3}{N+0,4} \approx F(t)$ (III.1)

(Dans notre cas N =12 ≤ 20) et on trace la courbe de Weibull :

Tableau (III.3) : Fonction de réparation réelle

N°	TBF(h)	N	Σ ni	F(i)	F(i) %
1	696	1	1	0.0564	5.64
2	720	1	2	0.1370	13.70
3	864	1	3	0.2177	21.77
4	1656	1	4	0.2983	29.83
5	1680	1	5	0.3790	37.90
6	1848	1	6	0.4596	45.96
7	2208	1	7	0.5403	54.03
8	6264	1	8	0.6209	62.09
9	8304	1	9	0.7016	70.16
10	12332	1	10	0.7820	78.22
11	21023	1	11	0.8629	86.29
12	58776	1	12	0.9435	94.35

III. 4.1. La Courbe de Weibull :



Figure(III.2) : papier de Weibull

$$\beta=0.864746 \quad \eta=6534.66$$

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

III.4.2. 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 $F(i)$ et la fonction réelle $F(t)$ et prendre le maximum en valeur absolue $D_{n,max}$.

Cette valeur est comparée avec $D_{n,\alpha}$ Qui est donnée par la table de Kolmogorov Smirnov (voir sur table Annex1).

Si $D_{n,max} > D_{n,\alpha}$ On refuse l'hypothèse.

Tableau (III.4): test K-S (kolmogrov -smirnov)

N	TBF	F(i)	F(t)	$D_{n,max} = F(i)-F(t) $
1	696	0.0564	0.1343	0.0779
2	720	0.1370	0.1380	0.0010
3	864	0.2177	0.1595	0.0582
4	1656	0.2983	0.2630	0.0353
5	1680	0.3790	0.2657	0.1160
6	1848	0.4596	0.2850	0.1746
7	2208	0.5403	0.3238	0.2165
8	6264	0.6209	0.6166	0.0043
9	8304	0.7016	0.7078	0.0062
10	12332	0.782	0.8230	0.0410
11	21023	0.8629	0.9359	0.0730
12	58776	0.9435	0.9988	0.0553

D'après la table de K-S :

$DN_{max} < DN_{\alpha}$ Ce qui veut dire que le modèle de Weibull est accepté. Nous avons pris la valeur maximale $DN_{max} = |F(i) - F(t)|$. $DN_{max} = 0.2165$ tandis que $DN_{\alpha} = D_{12,0.20} = 0.295$ (voir sur table Annex1). $0.2165 < 0.295$ donc l'hypothèse du modèle de Weibull est acceptable.

III. 4.3. Exploitation les paramètres de Weibull :

Le MTBF

Le tableau de MTBF donne $A= 1.0880$ $B=1.29$ (voir sur table Annex2)

$$MTBF=A\eta + \gamma \quad (\text{III.2})$$

$MTBF=1.088 * 6534.66+ 0= 7109.71$ h.

a) La densité de probabilité en fonction de MTBF :

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

$$f(t) = \frac{0.864746}{6534.66} \left(\frac{7109.71}{6534.66}\right)^{0.864746-1} \cdot e^{-\left(\frac{7109.71}{6534.66}\right)^{0.864746}} = 0.0000446$$

b) La fonction de réparation en fonction de MTBF :

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

$$F(t = MTBF) = 1 - \left(\frac{7109.71}{6534.66}\right)^{0.864746-1} = 1 - 0.3417 \approx 0,66 \%$$

$$F(t = MTBF) = 0.66 = 66\%$$

c) La fiabilité en fonction de MTBF :

$$R(t=MTBF) = 1 - F(t= MTBF) \quad (\text{III.5})$$

$$R(MTBF) = 1-0.66 = 0.34= 34\%$$

On remarque que la fiabilité du compresseur est faible

d) Le taux de défaillance en fonction de MTBF

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

$$\lambda(t=MTBF) = 0.000131 \text{ panne/heures.}$$

e) Calcul du temps souhaitable pour une intervention systématique

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

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

$$\ln R(t) = -(t/\eta)^\beta = \ln(0.80) \Leftrightarrow -[\ln R(t)]^{1/\beta} = t/\eta \Rightarrow t = \eta[\ln(1/R(t))]^{1/\beta}$$

$$t = 6534.66[\ln(1/0.80)]^{1/0.864746}$$

$t_{sys} = 1153.23$ heures.

Pour garder la fiabilité des compresseurs 80% il faut intervenir chaque temps systématique 1153.23 h.

III. 4.4. Étude de modèle de Weibull:

a. La fonction de la densité de probabilité:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad \text{(III.8)}$$

$$f(t) = \lambda(t) \cdot R(t) \quad \text{(III.9)}$$

Tableau (III.5) : Calcul la fonction de la densité de probabilité

TBF	696	720	864	1656	1680	1848	2208	6264	8304	12332	21023	58776
f(t). 10^{^(-6)}	155.7	153.1	146.2	117.7	116.1	111.5	104.0	55.9	37.1	21.8	7.23	0.147

Courbe de la densité de la probabilité f(t) :

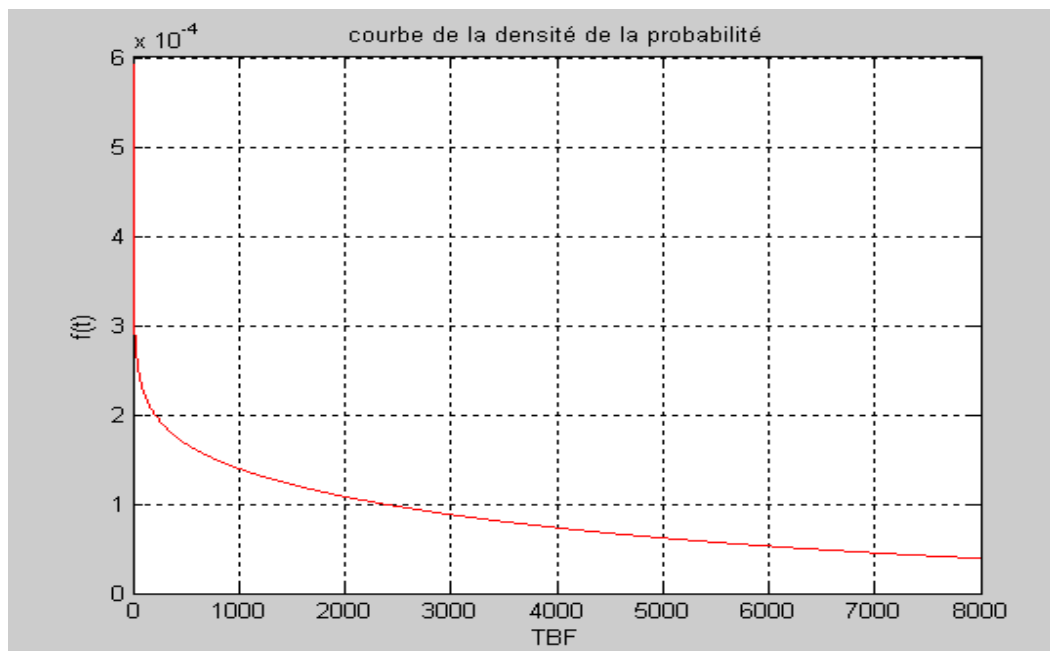


Figure (III.3) : La Courbe Densité De Probabilité

Analyse de la courbe :

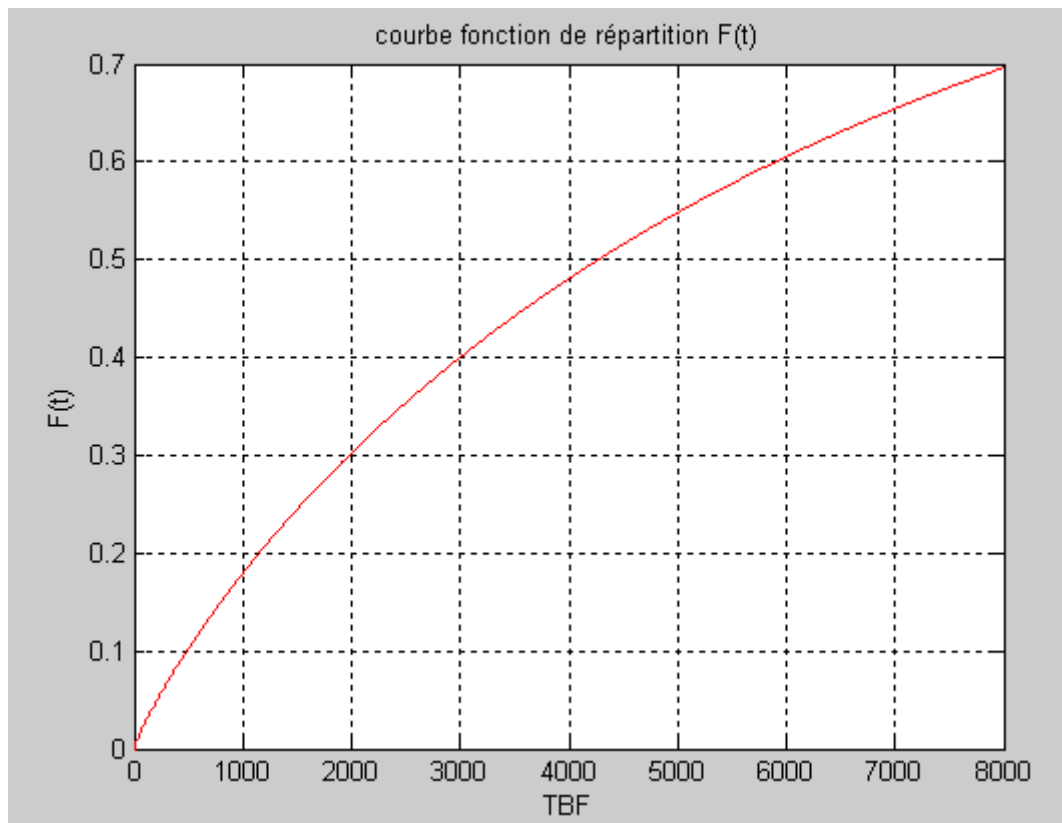
Nous observons à travers la courbe que la fonction $f(t)$ diminue avec le temps jusqu'à ce qu'elle prenne des valeurs nulles.

b. Fonction de répartition $F(t)$:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{III.10})$$

Tableau (III.6) : Fonction de répartition

TBF	696	720	864	1656	1680	1848	2208	6264	8304	12332	21023	58776
F(t). 10	1.343	1.380	1.595	2.630	2.657	2.850	3.238	6.166	7.078	8.230	9.359	9.988

Courbe fonction de répartition $F(t)$:**Figure (III.4) :** La Courbe De Fonction Répartition**Analyse de la courbe :**

Nous observons à travers la courbe que la fonction $F(t)$ augmente constamment au fil du temps.

c. La Fiabilité $R(t)$:

La fonction fiabilité de celle de répartition : $R(t) = 1 - F(t)$, après calcul la fiabilité des compresseurs aux temps $t = \text{MTBF}$, on déduit que la valeur n'est pas satisfaisante donc on peut dire que le compresseur n'est pas fiable à $t = \text{MTBF}$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{III.11})$$

$$R(t = \text{MTBF}) = 0,34$$

Tableau (III.7) : Calcul de la fiabilité

TBF	696	720	864	1656	1680	1848	2208	6264	8304	12332	21023	58776
R(t)	0.87	0.86	0.84	0.74	0.73	0.71	0.68	0.42	0.29	0.18	0.064	0.0015

Courbe de la fiabilité :

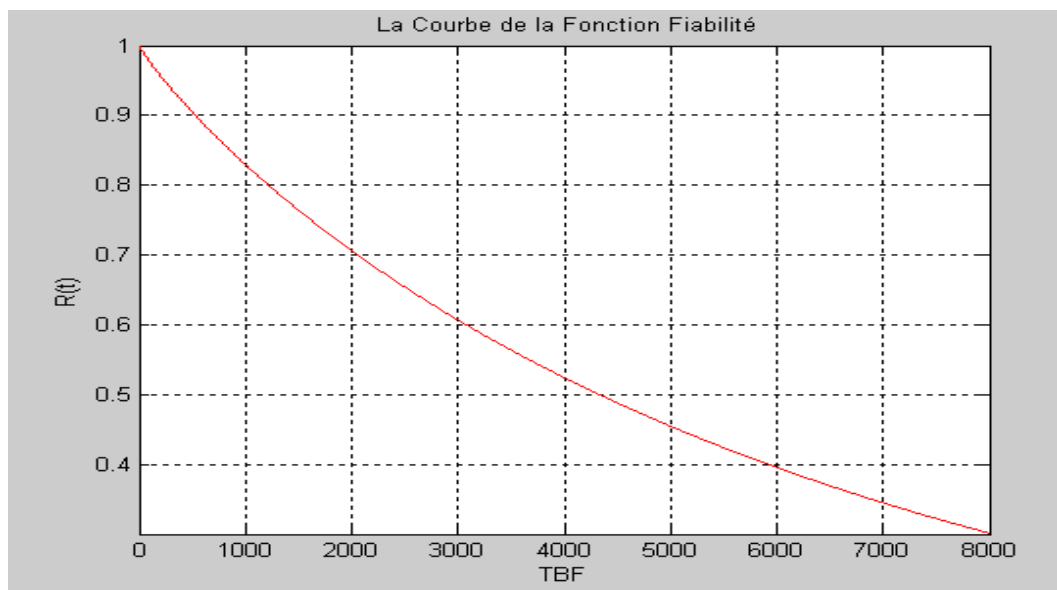


Figure (III.5) : La Courbe De la Fonction Fiabilité

Analyse de la courbe :

Le graphe décroissant en fonction de temps ce qui fait expliquer par le phénomène de dégradation.

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.

d. Le taux de défaillance $\lambda(t)$:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (\text{III.12})$$

Tableau(III.8) : Le taux de défaillance

TBF	696	720	864	1656	1680	1848	2208	6264	8304	12332	21023	58776
$\lambda(t) \cdot 10^{-3}$	0.179	0.178	0.174	0.159	0.159	0.157	0.153	0.133	0.128	0.121	0.113	0.098

Courbe du taux de défaillance :

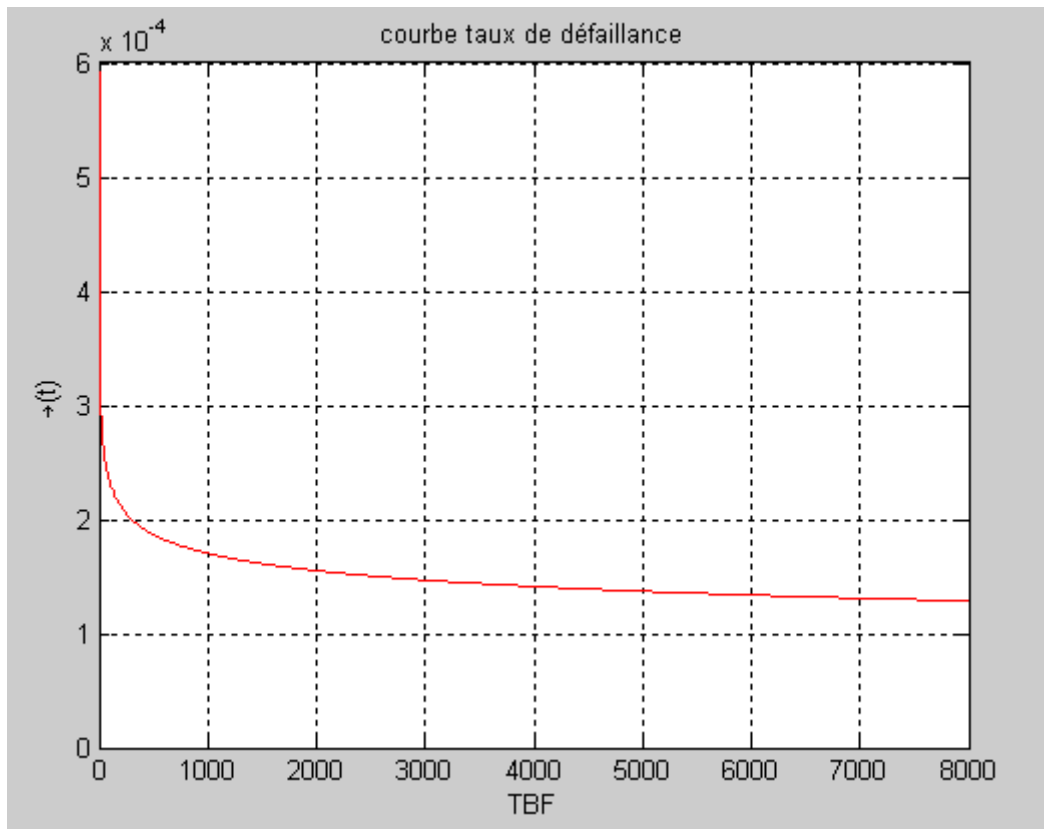


Figure (III.6) : Le courbe taux de défaillance

Analyse de la courbe :

Nous observons à travers la courbe que la fonction $\lambda(t)$ prend une grande valeur et diminue avec le temps.

III. 4.5. Calcul la Maintenabilité du compresseur :

D'après l'historique des pannes du compresseur :

$$MTTR = \Sigma TTR / N. \quad (III.13)$$

TTR : temps de réparation.

N : nombre de panne.

$$MTTR = 680 / 12 = 56.67 \text{ h.}$$

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad (III.14)$$

$$\text{Avec } \mu = 1 / MTTR \quad (III.15)$$

$$\mu = 1 / 56.67 = 0.0176 \text{ intervention / heure.}$$

Tableau (III.9) : La Maintenabilité du compresseur

TTR(h)	40	80	120	160	200	240	280	320	360	400	440	480
M(t)	0.51	0.76	0.88	0.94	0.97	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99

Courbe de maintenabilité :

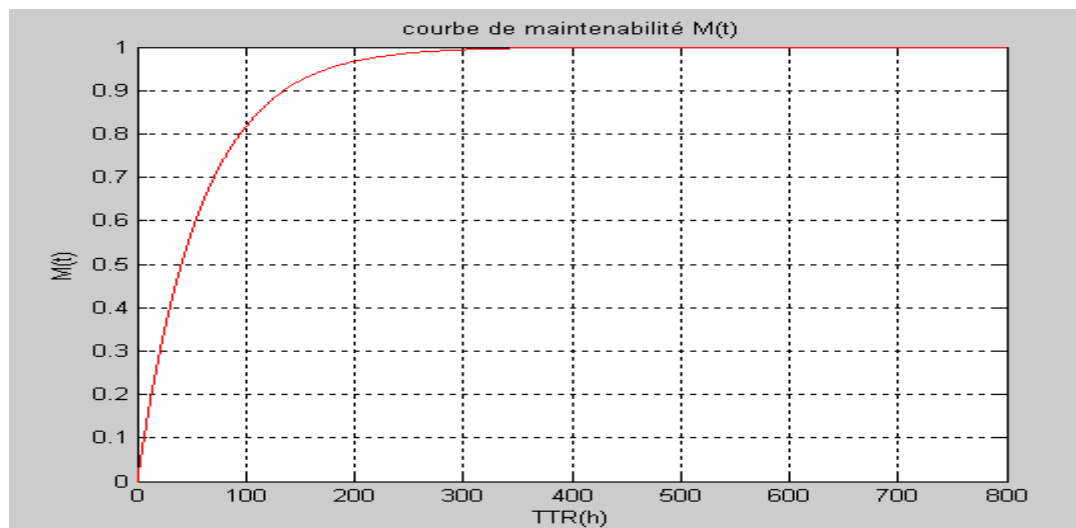


Figure (III.7) : La Courbe de Maintenabilité

Analyse de la courbe :

Nous observons à travers La Courbe de Maintenabilité augmente avec le temps.

La courbe de maintenabilité montre l'évolution de la réparation du compresseur

III.4.6. Calcul la disponibilité du compresseur

Disponibilité intrinsèque au asymptotique

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} = \frac{7109.71}{7109.71+56.67} = 0.9921$$

Disponibilité instantané :

$$D(t) = \frac{\mu}{\lambda+\mu} + \frac{\lambda}{\lambda+\mu} e^{-t(\lambda+\mu)} \quad (\text{III.16})$$

$$MTBF = \frac{l}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{7109.71} = 0.000141$$

$$MTTR = \frac{l}{\mu} \Rightarrow \mu = \frac{l}{MTTR} = \frac{l}{56.67} = 0.0176$$

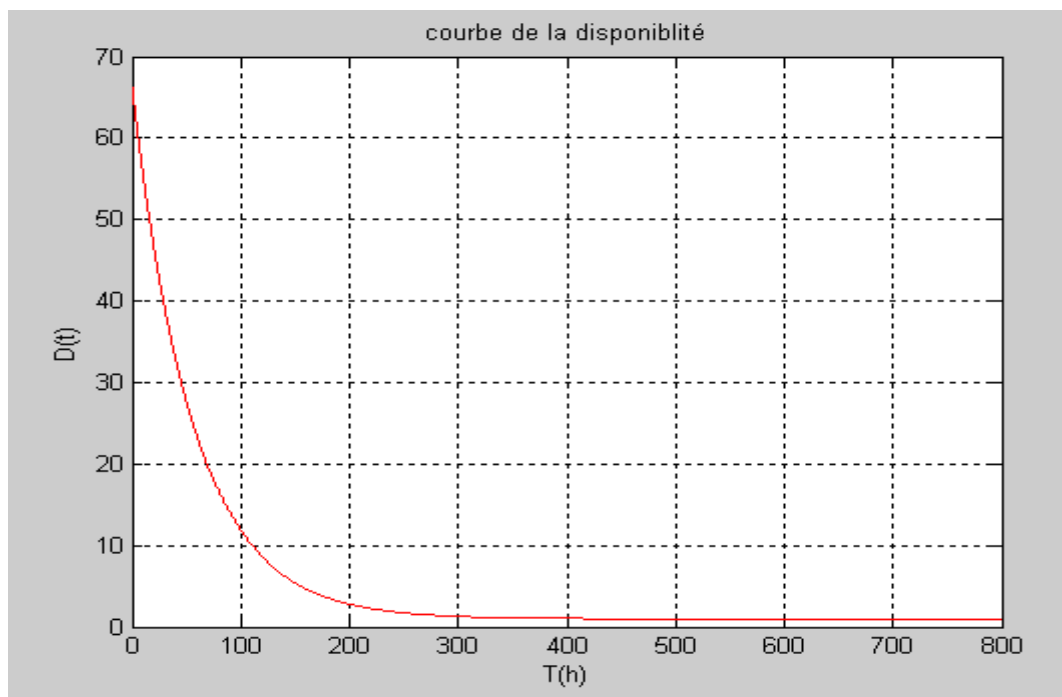
$$\mu + \lambda = 0.0176 + 0.000141 = 0.01774$$

$$D(t) = \frac{0.0176}{0.000141+0.0176} + \frac{0.000141}{0.000141+0.0176} e^{-(0.000141+0.0176)t}$$

Tableau (III.10) : Tableau de disponibilité

T(h)	40	80	120	160	200	240	280	320	360	400	440	480
D(t)	0.496	0.248	0.126	0.067	0.029	0.022	0.0094	0.011	0.01	0.009	0.008	0.008

Courbe de la disponibilité :



Figure(III.8) : Courbe de la disponibilité

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).

III.5.Conclusion

Dans ce chapitre on a tenté d'exploiter l'historique de panne, en classant les pannes selon leurs causes.

Le diagramme de Pareto est utilisé notamment pour hiérarchiser, mettre en valeur les causes et cibler les actions à mettre en œuvre en priorité.

Dans ce chapitre, nous pouvons conclure que la FMD a un rôle très important dans l'industrie et en plus que ça, les méthodes de calculs des instruments de l'entreprise tel que les composants de compresseur. Ces méthodes ont permis de suivre en détail les problèmes et choisir une meilleure politique de maintenance, donc une bonne amélioration du travail.

Pour garder la fiabilité des compresseurs 80% il faut intervenir chaque temps systématique 1153.23 heures.

Conclusion générale

Conclusion Générale

Au terme de notre étude, nous pouvons constater et conclure qu'il est très important de définir la panne et comprendre les phénomènes des défaillances et de dégradation des matériels.

Ainsi de connaître les comportements avec une étude détaillée de la Fiabilité et de la Disponibilité qui permet de choisir une meilleure politique de maintenance, ce qui donne la possibilité de réduire les temps d'arrêts, l'indisponibilité et les coûts de maintenance est tout cela pour concrétiser la meilleure organisation de maintenance.

Ainsi nous avons commencé notre étude par une analyse d'historique l'existant pour bien comprendre les problèmes du système et afin de trouver les axes d'améliorations prioritaires à traiter. Cette analyse a été faite à partir de l'historique des arrêts de l'unité de compresseur enregistré, ce qui a servi de document de base pour appliquer la règle du 20/80 (diagramme Pareto) et pour trouver les causes des problèmes.

Dans ce mémoire nous avons présenté des indicateurs FMD en maintenance d'une Compresseur a vis atlas copco GA15 La problématique relative à la prise en compte de la Fiabilité de la Maintenabilité et de la Disponibilité de l'équipement étudiée.

Entre autre cette étude nous à permis de proposé le temps d'intervalle d'une maintenance systématique qui est de 1153.23 heures.

Au cours de notre étude nous avons constaté que l'amélioration de la Fiabilité-Maintenabilité- Disponibilité joue un grand rôle dans la baisse régulière des dépenses internes et externes de maintenance.

Références bibliographiques

- [01] **MAAMOUNE Saad et LEBSSISSE Noureddine** / Thème: ADAPTATION D'UN NOUVEAU SYSTEME D'ETANCHEITE (LA GARNITURE SECHE) AUCOMPRESSEUR K201B / Mémoire Master, Université Ouargla 2010/2011.
- [02] **BENREZZAK Samir**/ Thème: Étude de la performance d'un Compresseur centrifuge multi-étagés K101 A de la station de Oued Noumer / Mémoire Master, Université Tlemcen 2011/2012.
- [03] **CHEURFI Abderrahim et AMARACHE Salim** / Thème : Etude et maintenance du compresseur centrifuge BCL-406Problème d'encrassements / Mémoire Master, Université M'hamed Bouguera Boumerdes 2016-2017.
- [04] **SAMET Henda et DJRIDA Nabil** / Analyse de fonctionnement de compresseur par l'application de l'AMDEC (compresseur de la mine de Boukhadra) / Mémoire Master, UNIVERSITE LARBI TEBSSI –TEBESSA 2015-2016.
- [05] **JEREMIE M'Boua** / Contribution à la modélisation et au contrôle de compresseurs. Application à la gestion de l'air dans les systèmes piles à combustible de type PEM / Thèse de Doctorat, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard 07 Décembre 2010.
- [06] **DESTOOP Thierry** / Doc. B 4 220 Compresseurs volumétriques
- [07] **OUSTANI Mebrouk et NEDJAA Mohammed Mokhtar** / Thème: ETUDE MAINTENANCE PREVENTIVE D'UN TURBOCOMPRESSEUR PAR ANALYSE DES HUILES / Mémoire Master, Université Ouargla 2013/2014.
- [08] **CHOUIDIRA Zinelaabidine et AICHAOUI Brahim** / Etude des paramètres et mode de défaillance d'un compresseur de type GA/ Mémoire Master, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA 2016 /2017.
- [09] **M. GRAD Hicham** / Thème : Apport de la MCSA par rapport à l'analyse vibratoire pour le suivi de l'état de la machine Asynchrone / Mémoire Master, Université Mohammed V -Soussi 2012/2013.
- [10] **François Monchy et Jean-Pierre Vernier** /MAINTENANCE Méthodes et organisations 3e édition / Dunod, Paris, 2000, 2003, 2010 ISBN 978-2-10-055061-6.

- [11] **DOUABA Nadji et BEROUBA Slimane** / Thème: Analyse analytique FMD et AMDEC d'un compresseur à vis- ATLAS COPCO ZE3 / Mémoire Master, Université Ouargla 2016/2017.
- [12] **KOENIG Damien** / SURVEILLANCE : APPROCHE SURETE DE FONCTIONNEMENT/ INPG : Ecole ESISAR 5ème Année, module AC-512.
- [13] **KADARI El Hassen et BELABES Zakarya** / Thème: Contribution à la solution des problèmes de maintenance par l'utilisation des outils de diagnostic de défaillances dans les Installations hydrauliques / Mémoire Master, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SIL 2016 /2017.
- [14] **NGANTSUI Lucilaine Bénédith NGANTSUI** / MISE EN PLACE D'UNE POLITIQUE DE MAINTENANCE DU SYSTEME DE CLIMATISATION A EAU GLACEE DU SIEGE DE LA BEAC DE BRAZZAVILLE / Mémoire Master, M2B GEE/Promotion 2015.
- [15] **KAHAL Housseyn**/ Thème: Réseaux Bayésiens Dynamiques: Application aux réseaux électriques/ Mémoire de Magister, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran.
- [16] **HATHAT Abdelkader et DEBLAOUI Hicham** / Etude analytique FMD d'une turbine DR990 / Mémoire Master, Université Ouargla 2014/2015.
- [17] **BELLAOUAR Ahmed et BELEULMI Salima** /cour FMD (FIABILITE, MAINTENABILITE et DISPONIBILITE) / UNIVERSITE Constantine 1 2013-2014.
- [18] **DAFDAF Abd Elhak et FAID Omar** / Thème: Optimisation de la fiabilité d'un système électromécanique / Mémoire Master, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SIL 2017/2018.
- [19] **GICA** données de ciment-touggourt-

ANNEXE

Annexe 01 :

Tableau de loi KOLMOGOROV-SMIRNOV

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 /	1.14 /	1.22 /	1.36 /	1.63 /

Annexe 02 :

Distribution de Weibull : valeurs des coefficients A et B en fonction du paramètre de forme

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

Résumé

La maintenance des systèmes industriels est devenue un point nécessaire immédiatement de leur conception et de leur exploitation,

Le but de notre travail est l'étude de la maintenance du compresseur, étude des causes des différents endommagements, ainsi que l'étude de sa fiabilité, maintenabilité et disponibilité

Mots clés: ABC, fiabilité, disponibilité, maintenabilité, Pareto

Abstract

Maintenance of industrial systems has become a point of immediately necessary design and operations, as, for reasons of cost and quality,

The aim of our work is the study of maintenance of the Compressor, studying causes of different damages, and the study of its reliability, maintainability and availability.

Keyword: ABC, reliability, availability, maintainability. Pareto

ملخص

صيانة الأنظمة الصناعية أصبح عنصر ضروري لتصميمها وإستغلالها , وهذا من أجل التكلفة و النوعية

و الهدف من عملنا هذا هو دراسة صيانة الضاغط وأسباب الأضرار المختلفة التي تأثر على إنتاجها و فاعليتها و قابلية صيانتها.

الفاعلية, الوفرة, قابلية الصيانة باريتو : ABC, كلمات مفتاح