

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculte des Sciences Appliquées

Département de Génie Mécanique



Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences Techniques

Filière : Génie mécanique

Spécialité : Maintenance Industrielle

Présenté par :

HAMDAOUI Lakhdar

KHABBAR Hocine

THEME

***Etude analytique de la maintenance préventive
D'un compresseur à vis- ATLAS COPCO GA15-***

Soutenu le:

Jury:

M^{me} .I.ALLOUI

Président

UKM Ouargla

Mr. R.KEREK

Encadreur

UKM Ouargla

Mr. M.Boukhatem

Examineur

UKM Ouargla-

Année universitaire : 2017/2018

Remerciements

*En premier lieu, nous tenons à remercier **Dieu**, notre
créateur qui
nous a donné la force pour accomplir ce modeste travail.
Ce présent mémoire de fin d'étude, n'aurait pu avoir le jour
sans
contribution de nombreuses personnes, dont nous faisons
aujourd'hui
un plaisir et un devoir de les remercier.
Toutes nos infinies gratitude, Monsieur **KAREK RABIE**
pour son encadrement et ses aides précieuses.
Nous remercions aussi les membres de jury qui nous ont fait
l'honneur d'accepter le jugement de notre travail.
Notre sincère reconnaissance à nos enseignants du
département: Génie mécanique.
Nos remerciements s'adressent aussi, **KHELAD .B** et tous les
travailleurs du **groupe GICA UNITE TOUGGOURT**.
Et tous ceux qui ont contribués ou de loin a l'élaboration de
ce travail*

Remerciements	
Dédicace	
Table des matières	
Introduction générale	1
I Généralité sur le compresseur	2
I.1 Introduction	2
I.2 Définition.....	2
I.3 Utilisation	2
I.4 Classification des compresseurs	2
I.4.1 Compresseurs dynamiques	3
I.4.1.1 Compresseurs axiaux.....	3
I.4.1.2 Compresseurs hélico-centrifuges	4
I.4.1.3 Compresseurs centrifuges.....	4
I.4.1.3.1 Description de compresseur centrifuge.....	4
I.4.2 Compresseur Volumétrique.....	4
I.4.2.1 Principe de fonctionnement.....	5
I.4.2.2 Différent type de compresseur volumétrique	5
I.5 Compresseur a vis lubrifiées : atlas copco GA15	10
I.5.1 Les composantes de compresseur GA15.....	10
I.5.2 Le profile asymétrique	11
I.5.3 Principe du circuit d'huile	12
I.6 Conclusion.....	14
II. Généralité sur la maintenance	15
II.1 Introduction.....	15
II.2 La maintenance.....	15
II.2.1 Définition de la maintenance.....	15
II.2.3 Les objectifs de la maintenance.....	15
II.2.4 La politique de maintenance.....	15

Table des matières

II.2.5	La stratégie de maintenance.....	16
II.2.6	Historique et évolution de la maintenance.....	16
II.2.7	Les différents types de maintenance.....	16
II.2.7.1	La maintenance corrective.....	17
II.2.7.2	La maintenance préventive.....	17
II.2.8	Les activités de la maintenance	18
II.2.9	Les temps de la maintenance.....	19
II.2.10	Niveaux et échelons de maintenance.....	20
II.3	Etude de la fiabilité	22
II.3.1	Introduction.....	22
II.3.2	Définition.....	22
II.3.3	Intérêt de l'étude de la fiabilité.....	22
II.3.4	Objectifs et intérêts de la fiabilité en mécanique.....	22
II.3.5	Lois de fiabilité.....	22
II.3.6	LE MODELE DE WEIBULL.	23
II.3.6.1	Méthodes D'approximation Des Valeurs De La Fonction De Répartition.....	23
II.3.6.2	La loi de Weibull	24
II.3.6.3	Domaine d'application.....	27
II.3.6.4	Détermination graphique des paramètres de la loi de Weibull.....	27
II.3.6.5	Méthodologie de Weibull	28
II.3.7	La Maintenabilité	29
II.3.8	Le concept de disponibilité.....	30
II.4	Diagramme causes-effet.....	31
II.5	LA METHODE A.B.C.....	32
II.6	Analyse fonctionnelle.....	33
II.6.1	LE S.A.D.T. : ANALYSE DESCENDANTE ET LIENS INTER – FONCTIONNELLE.....	33
II.6.2	LA PIEUVRE.....	33
II.7	Etude AMDEC.....	34
II.7.1	Définition.....	34
II.7.2	Objectifs de l'AMDEC.....	34
II.7.3	Méthodologie d'une AMDEC.....	34

Table des matières

II .7.4 Types de l'AMDEC.....	35
II.7.5 Tableau les indices de défaillance.....	36
II .8 Conclusion.....	36
III Partie calcul.....	37
III.1 Introduction.....	37
III.2 Exploitation de l'historique.....	37
III.3 Méthodes d'analyse prévisionnelle « ABC (Pareto)».....	38
III.3.1 La Courbe de Pareto.....	38
III.4 Calcul les paramètres de weibull :.....	39
III.4.1 La Courbe de Weibull.....	39
III.4.2 Test (KOLMOGOROV SMIRNOV).....	40
III.4.3 Exploitation les paramètres de WEIBULL.....	41
III.4.4 Étude de modèle de weibull.....	42
III.4.5 Calcul la Maintenabilité du compresseur.....	46
III.4.6 Calcul la disponibilité du compresseur.....	47
III.5 Diagramme causes-effet	48
III.5.1 Analyse du défaut de fonctionnement d'élément de compression.....	48
III.5.2 Analyse du défaut de Température d'élément de compression.....	48
III.5.3 Analyse du défaut de fonctionnement de compresseur.....	49
III.6 Analyse fonctionnelle.....	49
III.6.1 LE S.A.D.T. : ANALYSE DESCENDANTE ET LIENS INTER- FONCTIONNELLE.....	49
III.6.2 LA PIEUVRE.....	50
III.7 Tableau d'AMDEC.....	51
III.8 Conclusion.....	52
Conclusion générale.....	53

Figure chapitre I

Figure(I.01) : Classification des compresseurs.....	3
Figure(I.02) : les compresseurs dynamiques.....	3
Figure(I.03) : Description de compresseur centrifuge.....	4
Figure(I.04) : principe de fonctionnement.....	5
Figure(I.05) Principe de fonction.....	6
Figure I.06 :Compresseur à palettes	6
Figure I.07 : leurs Rotor et stator.....	6
Figure I.08 :Compresseur à lobes.....	7
Figure I.09 : Compresseur à anneau liquide.....	8
Figure I.10 . Fonctionnement du compresseur à anneau liquide.....	8
Figure I.11 : Principe de fonctionnement des deux rotors du compresseur.....	9
Figure I.12 : Compresseur a vis atlas copco GA15.....	10
Figure I.13 : Elément de compresseur GA15.....	11
Figure I.14 : Ensemble de rotors.....	12
Figure I.15 : Asymétrique profile.....	12
Figure I.16 : schéma du compresseur ATLAS-COPCO GA15.....	13

Figure chapitre II

Figure (II.01) : Organigramme synthétique.....	16
Figure (II.02) :Temps caractéristiques lors d'une intervention.....	19
Figure (II.03) : Courbe théorique (densité de probabilité $f(t)$)	24
Figure (II.04) : Courbe théorique (Fiabilité).....	25
Figure (II.05) : Courbe théorique (fonction de répartition).....	26
Figure (II.06) : Courbe théorique (Taux de défaillance.....	27
Figure (II.07) : Schématisation des axes.....	28
Figure (II.08) : Papier de Weibull.....	28
Figure (II.09) : Méthodologie de Weibull	29

Liste des Figures

Figure (II.10) : Représentation graphique du diagramme de causes à effets.....	32
Figure (II.11) : «Courbe A.B.C.».....	32
Figure (II.11) : S.A.D.T.....	33

Figure chapitre III

Figure (III.01) : La Courbe de Pareto.....	38
Figure (III.02) : papier de Weibull en logiciel minitab16.....	39
Figure (III.03) : La Courbe Densité De Probabilité (logiciel matlab).....	42
Figure (III.04) : La Courbe De Fonction Répartition (logiciel matlab).....	43
Figure (III.05) : La Courbe De la Fonction Fiabilité (logiciel matlab).....	45
Figure (III.06) : Le courbe taux de défaillance (logiciel matlab).....	45
Figure (III.07) : La courbe de maintenabilité (logiciel matlab).....	46
Figure (III.08) : Courbe de la disponibilité.....	47
Figure (III.09) : Analyse du défaut de fonctionnement d'élément de compression	48
Figure (III.10) : Analyse du défaut de haut température.....	49
Figure (III.11) : Analyse du défaut de fonctionnement de compresseur.....	49
Figure (III.12) : Analyse descendante et liens inter-fonctionnelle.....	49
Figure (III.13) : pieuvre.....	50

Liste des Tableaux

Tableaux chapitre II

Tableau(II.01) :Les cinq niveaux de maintenance.....	20
Tableau(II.02) :Outils d'analyse des défaillances.....	23
Tableau(II.03) :les indices de défaillance.....	36

Tableaux chapitre III

Tableau(III.01) :L'historique de panne de compresseur ATLAS-COPCO GA15.....	37
Tableau(III.02) :L'analyse ABC (Pareto).....	38
Tableau(III.03) :Fonction de réparation réelle.....	39
Tableau(III.04):test K-S (kolmogrov-smirnov).....	40
Tableau(III.05) :Calcul la fonction de la densité de probabilité.....	42
Tableau(III.06) :Fonction de répartition.....	43
Tableau(III.07) :Calcul de la fiabilité.....	44
Tableau(III.08) :Le taux de défaillance.....	45
Tableau(III.09) :La maintenabilité du compresseur.....	46
Tableau(III.10) :Tableau de disponibilité.....	47
Tableau(III.11) :Fonctions et leurs significations.....	50
Tableau(III.12) :Tableau d'AMDEC.....	51

Notations utilisées

- **-Notations de temps**

TTR : Temps de réparation

TBF : Temps de bon fonctionnement

MTTR : Moyenne des temps techniques de réparation.

MTBF : Moyenne des temps de bon fonctionnement

- **Notations de loi de weibull**

R(t) : Fonction de fiabilité

F(t) : Fonction de défaillances

f (t) : Densité de probabilité

$\lambda (t)$: Taux de défaillance

μ : temps de réparation

- **Notations de loi de fiabilité**

F : Fiabilité

M : Maintenabilité

D : Disponibilité

- **Notations de paramètre de weibull**

β : Paramètre de forme

γ : Paramètre de position

η : Paramètre d'échelle

- **Notations d'analyse fonctionnelle**

SADT : (Structure Analyses Design Technique)

AMDEC : Analyse des Modes des Défaillance de leurs Effets et de leur Criticité

Introduction générale

Introduction générale

Le compresseur est très important dans le domaine de l'industrie, par exemple dans l'entreprise où nous avons fait une formation et c'est ce qui nous a conduit à faire cette recherche et notre étude à ce sujet.

Notre projet de fin d'étude s'inscrit dans le cadre d'application des méthodes de la maintenance des Compresseurs. Il porte sur l'étude des compresseurs de secteur adaptation.

L'objectif de ce travail est de faire une analyse PARETO, dans un premier temps, des compresseurs en se basant sur l'historique des pannes. Ensuite nous avons étudié les causes et les effets de l'organe le plus critique par la méthode d'ISHIKAWA.

Dans un deuxième temps, nous sommes établis une analyse AMDEC sur tous les organes de compresseurs à vis et nous avons déterminé leurs criticités et décelé les plus critiques.

Le but de ce travail 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, Il analyse les cas des défaillances. Rendre possible de prendre une décision stratégique et de proposer une politique de maintenance efficace.

Le présent rapport est constitué de trois chapitres :

Le premier chapitre est généralité sur les compresseurs et leurs caractéristiques et le deuxième chapitre est généralité sur la maintenance.

Finalement le troisième chapitre présente l'étude de compresseur à vis.

Chapitre I

Généralité sur les compresseurs

I. Généralité sur les compresseurs :**I.1. Introduction :**

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 pression. [1]

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

- Les réactions chimiques (pression convenable le catalyseur) ;
- Le stockage dans les cavités ;
- La liquéfaction ou la séparation ;
- les cycles de réfrigération ;
- L'alimentation des réseaux d'air comprimé

I.2. Définition de compresseur :

Un compresseur mécanique est un organe mécanique destiné à augmenter la pression d'un gaz, et donc son énergie.

Il existe également des compresseurs sans aucun organe mécanique, ce sont les thermo compresseurs, plus communément appelés éjecteurs. [1]

I.3. Utilisation :

Les compresseurs mécaniques sont utilisés dans les automobiles, les avions mais aussi sur les bateaux à moteur, dans l'industrie pour produire de l'air comprimé, dans les systèmes frigorifiques, ainsi que dans d'innombrables autres domaines.

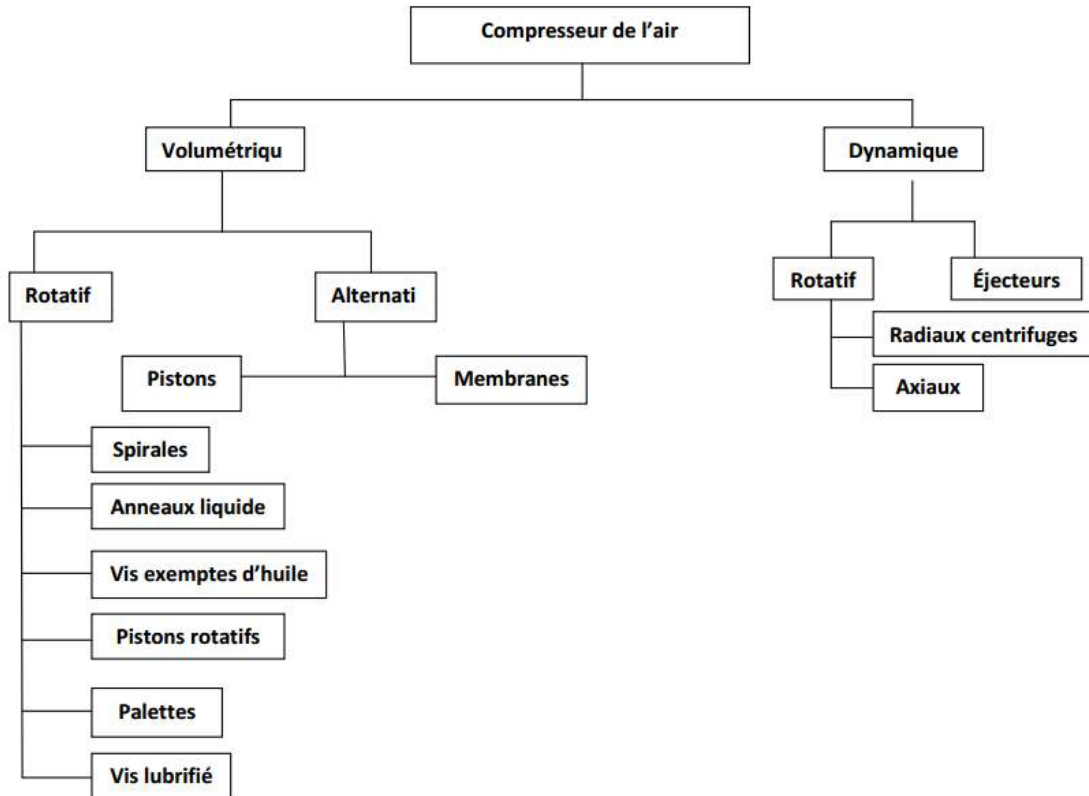
Un simple ventilateur peut être considéré comme un compresseur mécanique.

Pour exercer la même fonction sur un liquide, quasi incompressible, on utilise une pompe. [1]

I.4. Classification des compresseurs :

Les compresseurs peuvent être classés selon caractéristiques suivants : figure

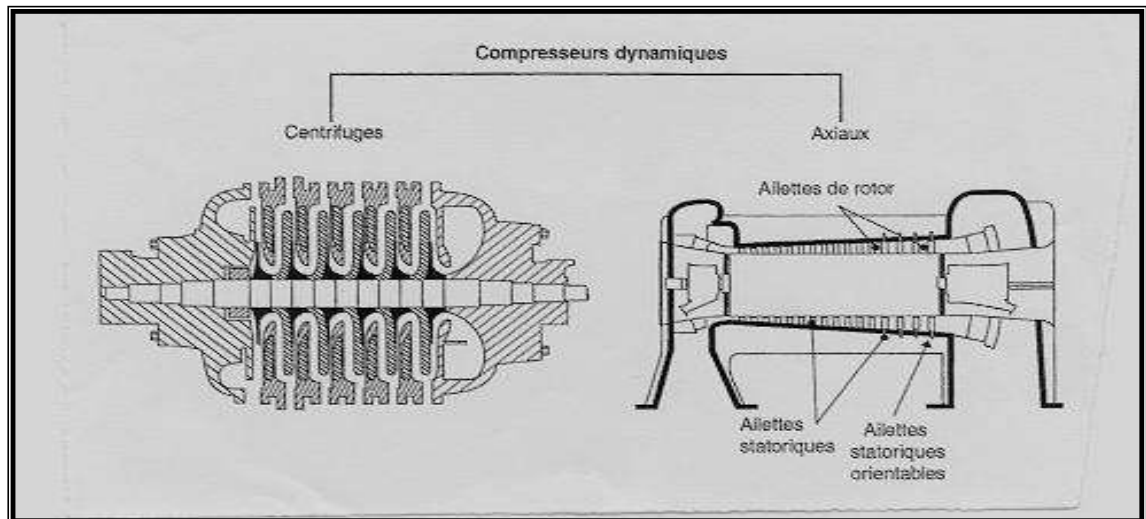
- le principe de fonctionnement (volumétrique, dynamique) ;
- mouvement des pièces mobiles (mouvement linéaire, rotatif) ;
- les compresseurs d'air ;
- les compresseurs des gaz. [1]



Figure(1) : Classification des compresseurs

I.4.1. Compresseurs dynamiques :

Au point de vue de l'écoulement du fluide, les compresseurs dynamiques se divisent en trois types machines axiaux, centrifuges et hélico-centrifuges. [1]



Figure(2) : les compresseurs dynamiques

I.4.1.1 Compresseurs axiaux :

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

I.4.1.2. Compresseurs hélico-centrifuges :

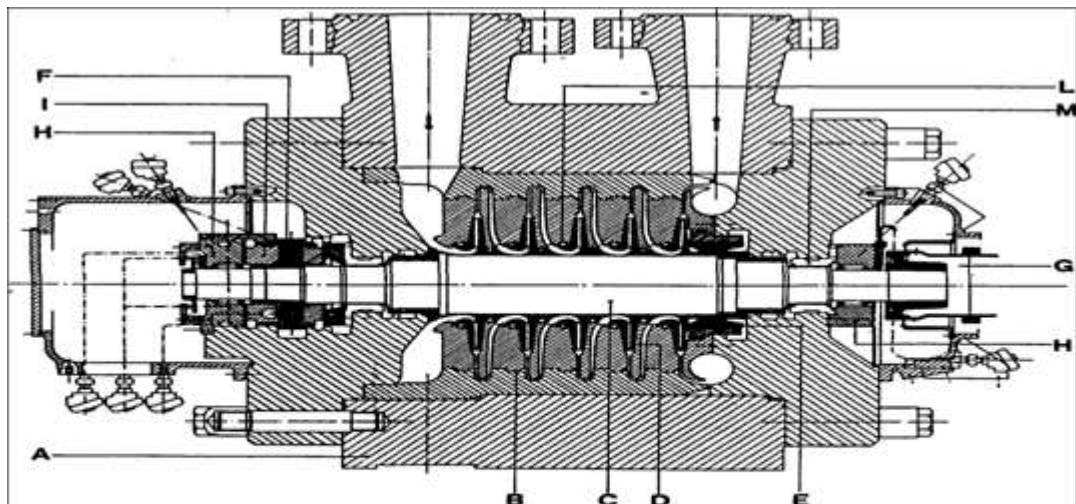
Nomme parfois hélico-centrifuges des compresseurs équipés d'impulseurs de forme intermédiaire entre axial et centrifuge radial
 Dans les compresseurs axiaux, l'impulseur est une roue possédant des ailettes sur sa périphérie seulement .le gaz est accélère par les ailettes dans le sens de l'axe de l'impulseur [1]

I.4.1.3. Compresseurs centrifuges :

Les compresseurs centrifuges augmentent l'énergie du gaz comprimé grâce à la force centrifuge qui est provoquée par le mouvement de rotation des roues à aube. [1]

I.4.1.3.1. Description de compresseur centrifuge :

Le compresseur centrifuge est une machine "dynamique" à écoulement continu de fluide. 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. [1]



A- corps extérieur ; B- diaphragmes ; C- arbre ; D- roues ; E- piston d'équilibrage ; F- collet du palier de butée ; G- rotor ; H- paliers porteurs ; I- palier de butée ; L- labyrinthe.

Figure(3) : Description de compresseur centrifuge

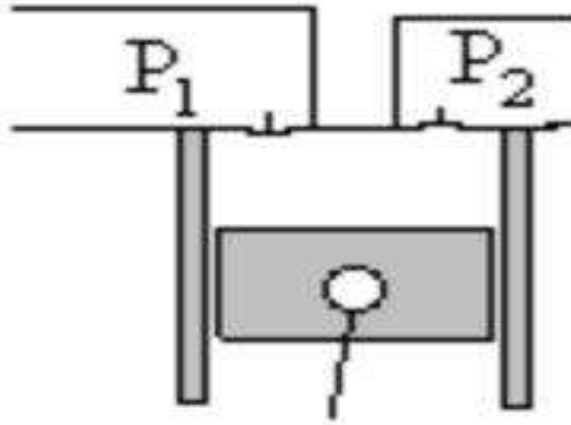
Ce type de machine est constitué par un corps extérieur contenant la partie du stator dite ensemble de diaphragmes (B) où est introduit un rotor formé par l'arbre (C) Une ou plusieurs roues (D), le piston d'équilibrage (E) et le collet (F) du palier de butée , le rotor entraîné par la machine motrice moyennant le moyeu (G) tourne sur les paliers porteurs (H) et est gardé dans sa position axiale par le palier de butée (I)

I.4.2. Compresseurs volumétrique :

Les compresseurs volumétriques sont l'élévation de pression est obtenue on réduisant un certain volume de gaz par action mécanique. [1]

I.4.2.1.Principe de fonctionnement :

Leur principe de fonctionnement est le suivant figure (4), 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 généralement, la transformation suit une loi voisine d'un poly tropique. [1]



Figure(4): principe de fonctionnement

I.4.2.2 Différent type de compresseur volumétrique :

Les compresseurs volumétrique peuvent être choisis suivant les caractéristiques citées au-dessus figure. [1]

a) Compresseurs alternatif à piston :

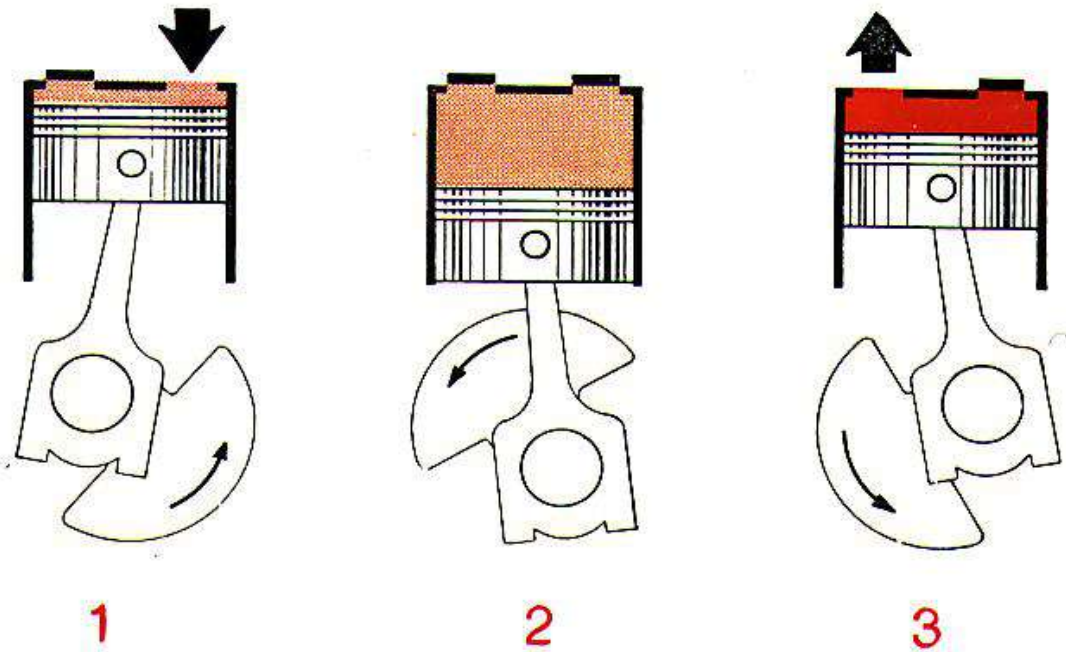
Dans un compresseur à piston, l'enceinte est le volume délimité par un cylindre, l'une de ses bases qui est fixe, et l'autre qui est un piston mobile dans l'alésage du cylindre, entraîné par un système bielle-manivelle.

En fin de compression, l'enceinte est mise en communication avec le circuit de refoulement, pour que le gaz comprimé à la pression P_2 puisse sortir. Une nouvelle masse de gaz à la pression P_1 est alors aspirée dans les canalisations amont, et ainsi de suite, le fonctionnement de la machine étant cyclique.

Les organes qui commandent le refoulement ou l'admission sont, dans les compresseurs à piston, des clapets automatiquement actionnés par les différences de pression entre l'enceinte et les tubulures de refoulement ou d'admission.

On désigne par cylindrée le volume *vs* balayé par le piston entre ses deux positions extrêmes, et par espace mort et le volume minimal de l'enceinte de compression. Dans les réalisations courantes, est de l'ordre de 3 à 5 %.

Du fait de l'existence de l'espace mort, les compresseurs volumétriques présentent une caractéristique particulière : leur cylindrée apparente est inférieure à leur cylindrée géométrique. Une certaine masse de fluide reste enfermée dans le compresseur en fin de refoulement, venant ainsi réduire le volume utile de la machine. On caractérise cette réduction de cylindrée par une grandeur appelée rendement volumétrique. [1]



Figure(5): Principe de fonction

b) Compresseur rotatif :

Ces compresseurs tels que les compresseurs à piston compriment les gaz par réduction du volume. Parmi les compresseurs relatifs on distingue :

- Compresseur à vis.
- Compresseur à palette.
- Compresseur anneau liquide.
- Compresseur type roots.
- Compresseur spirale.
- Compresseur a lobes. [1]

c) Compresseurs à palettes

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. [2]

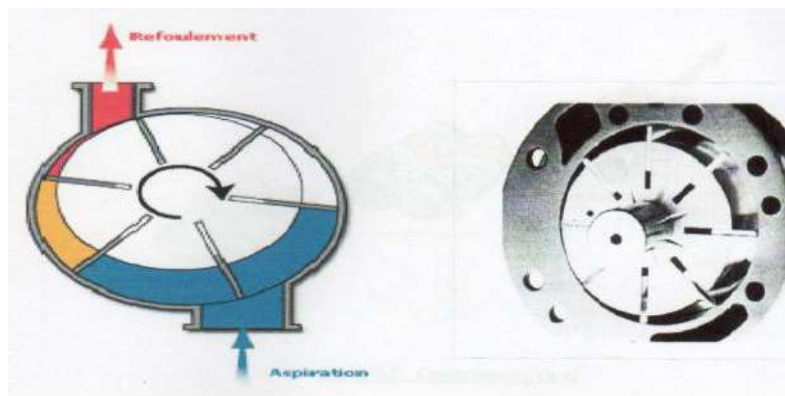


Fig (6) : Compresseur à palettes



Fig (7) : Rotor et stator

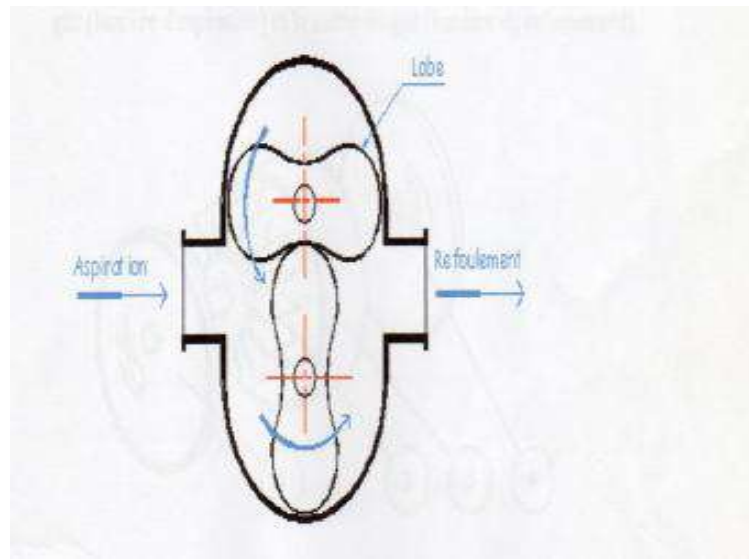
Capacité comprise entre deux palettes est variable. Devant la tubulure d'aspiration, le volume croît : il y a donc aspiration du gaz. Ce gaz est ensuite emprisonné entre deux palettes et transporté vers la tubulure de refoulement. Dans cette zone, le volume décroît et le gaz comprimé s'échappe dans la tuyauterie de refoulement. [2]

Deux conceptions de compresseur existent :

- Fonctionnement avec lubrification.
- Fonctionnement à sec.

d) Compresseur à lobes (ROOTS) :

Pour ce type, 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. [2]



Figure(8): Compresseur à lobes

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

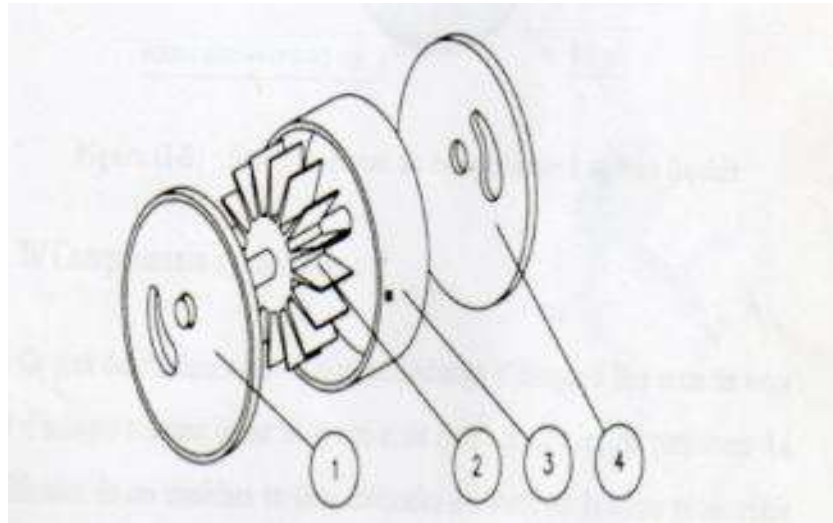
e) Compresseur à anneau liquide

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. [2]

Un étage de compression est composé des quatre éléments suivants :

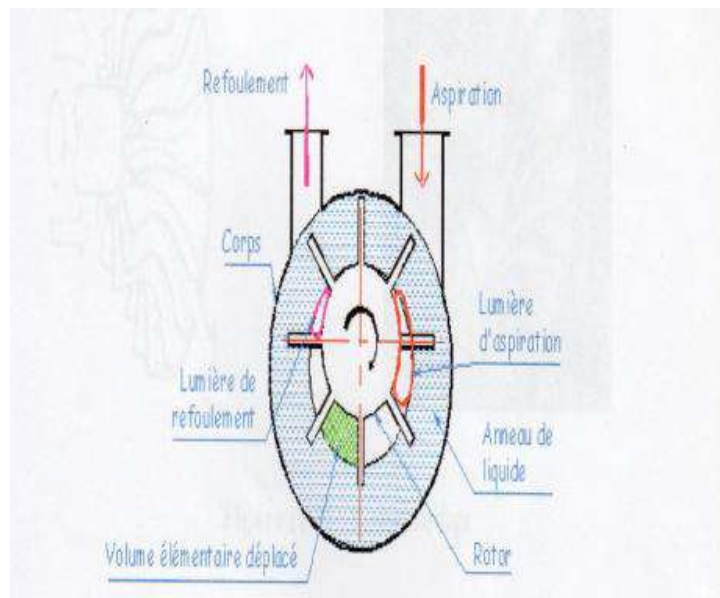
- Une roue à ailettes fixes montée sur l'arbre du compresseur.(2)
- Un corps cylindrique (stator) d'axe excentré par rapport à l'axe de rotation.(3)
- Deux disques (flasques(1) et (4) placés de part et d'autre du stator et portant chacun une ouverture (lumière ou ouïe) permettant l'entrée du gaz (lumière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

Le fonctionnement du compresseur est illustré par la figure ci dessous.



Figure(9): Compresseur à anneau liquide

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. [2]



Figure(10) : Fonctionnement du compresseur à anneau liquide

f) Compresseur rotatifs à vis :

f.1. Définition de compresseur à vis :

Le compresseur à vis comporte deux vis synchronisées contre rotatives qui permettent de comprimer le gaz comme pour le compresseur à piston on joue ici sur une diminution du volume pour augmenter la pression. [3]

f.2. Principe de fonctionnement :

Le principe de fonctionnement d'un compresseur à vis est simple. Ce type de compresseur se constitue d'un rotor male et d'un rotor femelle à denture hélicoïdale.

La rotation à grande vitesse dans des sens opposés des deux rotors mal et femelle provoquent l'entraînement et la compression de l'air. Ce dernier est transporté le long de la vis de l'orifice d'aspiration à l'orifice de refoulement d'une façon continue. [3]

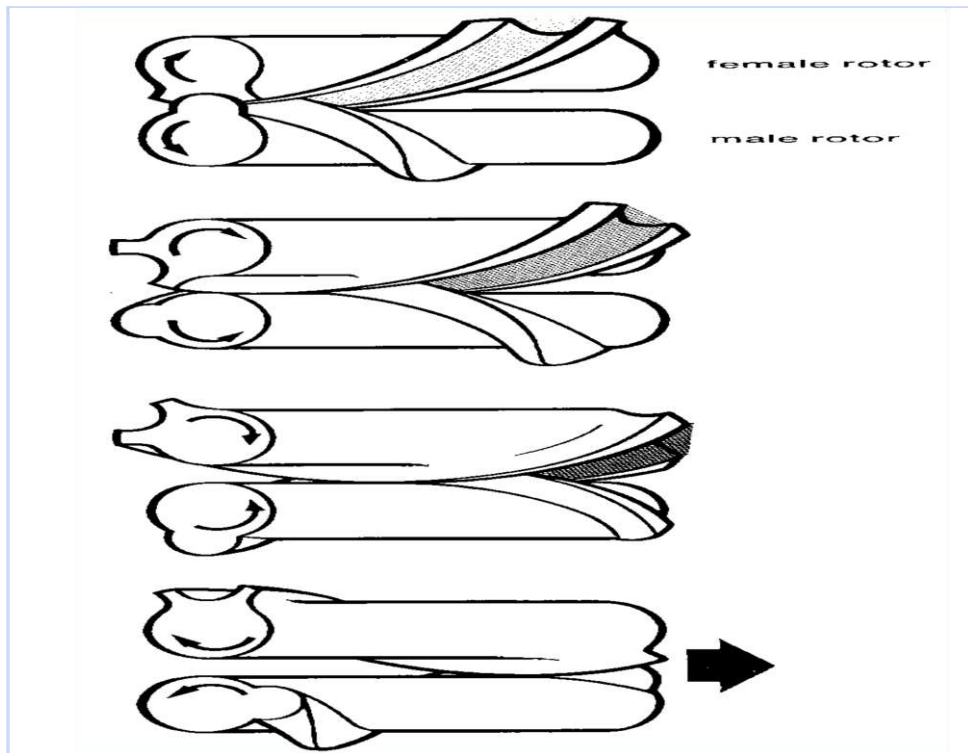


Figure (11): Principe de fonctionnement des deux rotors du compresseur

f.3 Les types des compresseurs a 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 b 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 b. [3]

I.5 Compresseur a vis lubrifiées : atlas copco GA15 :



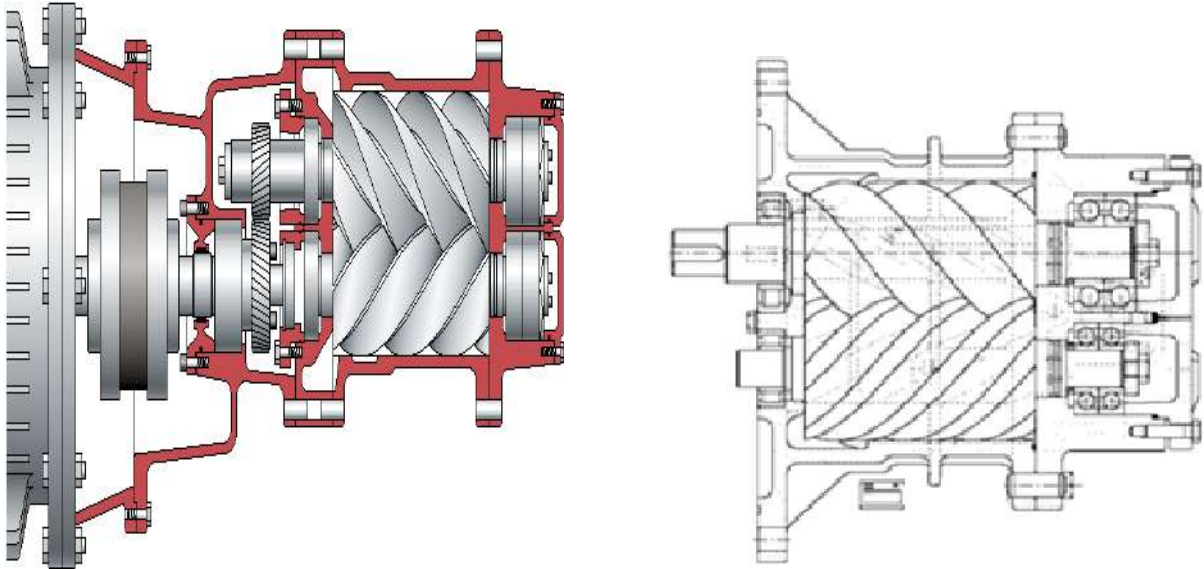
Figure(12): Compresseur a vis atlas copco GA15

I.5.1 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. . [3]



Figure(13) : Elément de compresseur GA

- **Le débit d'un compresseur dépendra de :**
 - La taille de l'élément compresseur (diamètre et longueur).
 - La vitesse de rotation de l'élément compresseur. . [3]
- **La puissance absorbée par le compresseur dépendra :**
 - Du débit de l'élément compresseur (donc de sa taille et de sa vitesse de rotation).
 - De la pression de refoulement (liée au réseau placé en aval).

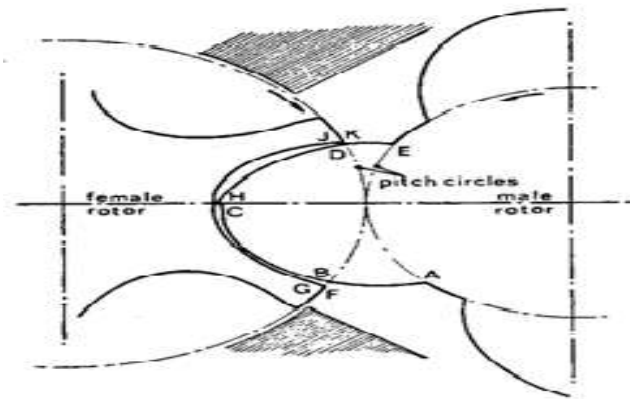
La vitesse de rotation de l'élément compresseur dépendra du moteur choisi (en général moteur asynchrone triphasé 2 pôles 3000 t/mn jusqu' à 75 KW, 4 pôles 1500 t/mn au delà) et du rapport de multiplication/ démultiplication choisi qui sera donné par le jeu de poulies (jusqu' au GA 22) ou par le jeu de pignons (à partir du GA 30). . [3]

I .5.2 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(14) : Ensemble de rotors



Figure(15) : Asymétrique profile

I .5.3 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. . [3]

L'huile est alors distribuée vers :

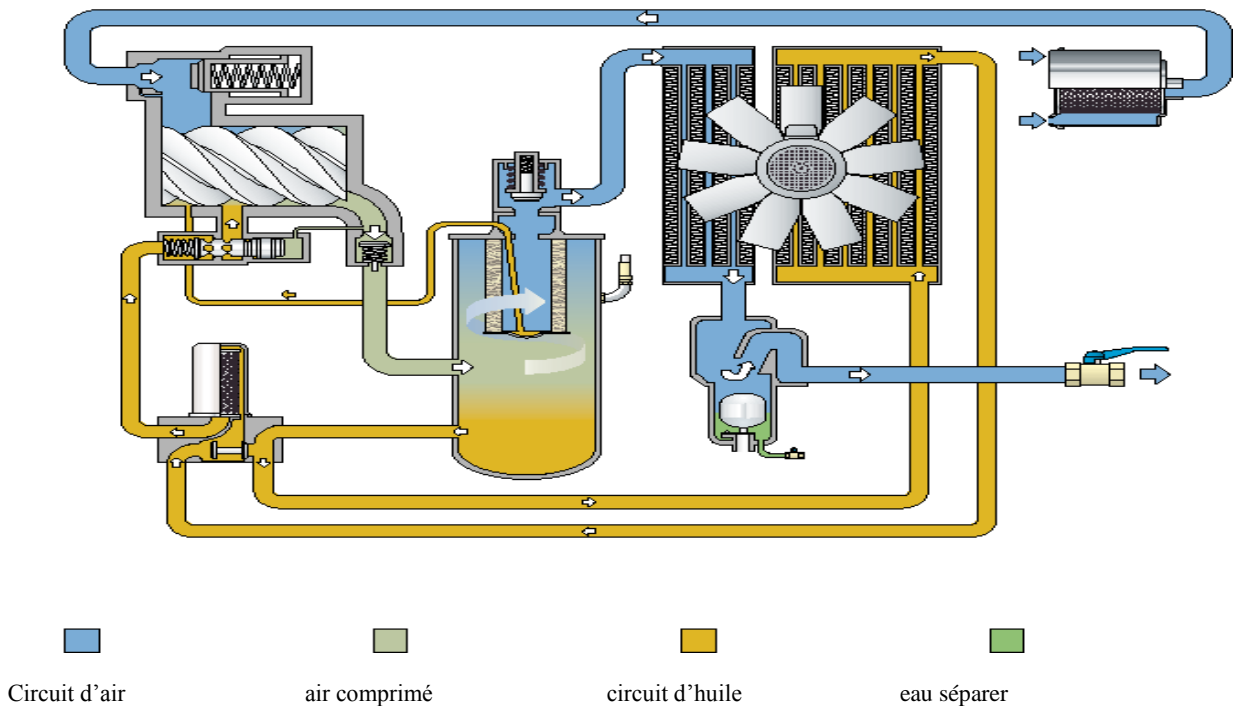
- La chambre de compression.
- Le carter d'engrenages.
- Le carter de roulements de sortie.
- Chambre de compression : Grâce aux orifices placés dans la chambre de compression, l'huile est projetée sur les rotors. L'huile est mélangée à l'air par le flux d'air et la vitesse de rotation des rotors.

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. . [3]

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.



Figure(16) : schéma du compresseur ATLAS-COPCO GA15

a) Circuit d'air :

Le système comprend :

- AF : Filtre à air
- UA : Tête d'aspiration
- E : Élément 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). [3]

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. [3]

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 b).

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. [3]

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. . [3]

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. [3]

- 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. [3]

I.6 Conclusion :

Le compresseur mécanique est un organe mécanique 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 Généralité sur la maintenance

II.1 Introduction:

La complexité sans cesse croissante des systèmes industriels s'est accompagnée d'une demande toujours plus forte de la disponibilité et de la sûreté des installations industrielles.

Il est en effet financièrement inutile de concevoir des installations sans cesse plus complexes, si celles-ci peuvent régulièrement tomber en panne et présenter un danger pour les personnes, l'environnement et les biens.

L'accroissement de la disponibilité peut être obtenu par améliorations de la fiabilité des unités fonctionnelles mais aussi par la mise en œuvre d'une stratégie de maintenance adaptée à l'installation étudiée. [4]

II.2 La maintenance

II.2.1 Définition de la maintenance (norme NF EN 13306)

La maintenance est l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise.

Une fonction requise est une fonction, ou un ensemble de fonctions d'un bien considérées comme nécessaires pour fournir un service donné. [4]

II.2.3 Les objectifs de la maintenance (norme FD X 60-000)

Selon la politique de maintenance de l'entreprise, les objectifs de la maintenance seront :

- ✓ la disponibilité et la durée de vie du bien.
- ✓ la sécurité des hommes et des biens.
- ✓ la qualité des produits.
- ✓ la protection de l'environnement.
- ✓ l'optimisation des coûts de maintenance. [5]

II.2.4 La politique de maintenance conduit, en particulier, à faire des choix entre :

- ✓ maintenance préventive et/ou corrective, systématique ou conditionnelle ;
- ✓ maintenance internalisée et/ou externalisée. [5]

II.2.5 La stratégie de maintenance (normes NF EN 13306 & FD X 60-000)

"La stratégie de maintenance est une méthode de management utilisée en vue d'atteindre les objectifs de maintenance."

Les choix de stratégie de maintenance permettent d'atteindre un certain nombre d'objectifs de maintenance :

- développer, adapter ou mettre en place des méthodes de maintenance.
- élaborer et optimiser les gammes de maintenance.
- organiser les équipes de maintenance.
- internaliser et/ou externaliser partiellement ou totalement les tâches de maintenance.
- définir, gérer et optimiser les stocks de pièces de rechange et de consommables.

- étudier l'impact économique (temps de retour sur investissement) de la modernisation ou de l'amélioration de l'outil de production en matière de productivité et de maintenabilité. [5]

II.2.6 Historique et évolution de la maintenance

a – Le terme "maintenance" a son origine dans le vocabulaire militaire, dans le sens maintien dans des unités de combat, de l'effectif et du matériel à un niveau constant.

Il est évident que les unités qui nous intéressent ici sont les unités de production, et le combat est avant tout économique.

L'apparition du terme "maintenance" dans l'industrie a eu lieu vers 1950 aux USA. En France, il se superpose progressivement à "l'entretien".

b – Entretien ou Maintenance ?

- Entretien c'est dépanner et réparer un parc matériel, afin d'assurer la continuité de la production. **Entretien c'est subir.**
- Maintenir c'est choisir des moyens de prévenir, de corriger ou de rénover le matériel, suivant sa criticité économique afin d'optimiser le coût global de possession. **Maintenir c'est maîtriser.** [5]

II.2.7 Les différents types de maintenance

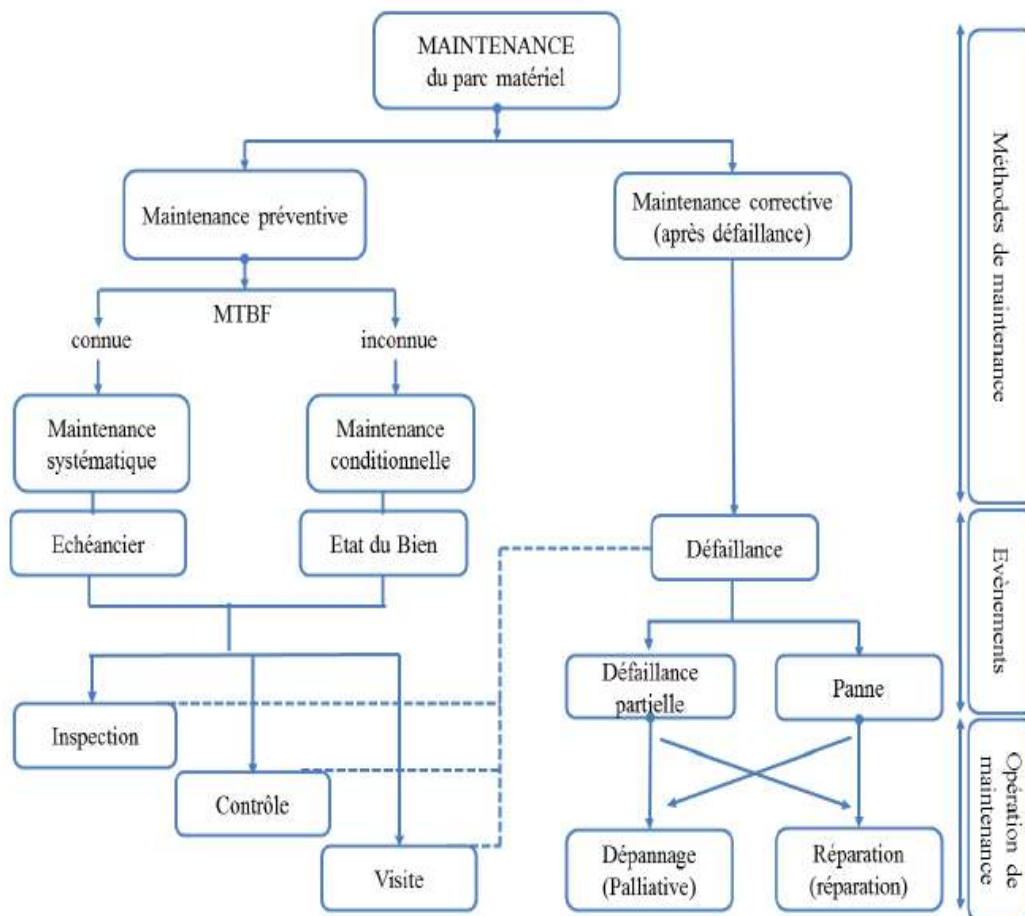


Figure (01) : Organigramme synthétique [4]

II.2.7.1 La maintenance corrective

Maintenance exécutée après défaillance et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise. extraits normes NF EN 13306:

Défaillances : altération ou cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir la fonction requise. [5]
Il existe 2 formes de défaillance :

- **Défaillance partielle** : altération de l'aptitude d'un bien à accomplir la fonction requise.
- **Défaillance complète** : cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir la fonction requise. La maintenance corrective a pour objet de redonner au matériel des qualités perdues nécessaires à son utilisation.

a) Maintenance corrective curative

La maintenance curative est une subdivision de la maintenance corrective « Maintenance corrective curative », par opposition à ce qu'on appelle la « Maintenance corrective palliative », c'est-à-dire le dépannage (provisoire). [5]

b) Maintenance corrective palliative

La maintenance palliative comme la maintenance curative, une des deux subdivisions de ce qu'on appelle la maintenance corrective. Alors que la maintenance curative qualifie une réparation par laquelle un bien retrouve son état initial, la maintenance palliative désigne un dépannage qui permet au bien de retrouver ses fonctions en attendant une intervention curative. Avec la maintenance palliative on est dans le provisoire, le court terme, alors que avec la curative on est dans le définitif, le long terme. [5]

II.2.7.2 La maintenance préventive

C'est la maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien. [5]

a) La maintenance préventive systématique

C'est la maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien. [5]

b) La maintenance préventive conditionnelle

C'est la maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent. [5]

c) La maintenance préventive prévisionnelle

C'est la maintenance préventive conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien. [5]

II.2.8 Les activités de la maintenance : (*norme NF EN 13306*)**➤ L'inspection**

C'est un contrôle de conformité réalisé en mesurant, observant, testant ou calibrant les caractéristiques significatives d'un bien.

En général, l'inspection peut être réalisée avant, pendant ou après d'autres activités de maintenance.

➤ La surveillance

C'est l'activité exécutée manuellement ou automatiquement ayant pour objet d'observer l'état réel d'un bien.

La surveillance se distingue de l'inspection en ce qu'elle est utilisée pour évaluer l'évolution des paramètres du bien avec le temps.

➤ La réparation

Ce sont les actions physiques exécutées pour rétablir la fonction requise d'un bien en panne.

➤ Le dépannage

Ce sont les actions physiques exécutées pour permettre à un bien en panne d'accomplir sa fonction requise pendant une durée limitée jusqu'à ce que la réparation soit exécutée.

➤ L'amélioration

Ensemble des mesures techniques, administratives et de gestion, destinées à améliorer la sûreté de fonctionnement d'un bien sans changer sa fonction requise.

➤ La modification

Ensemble des mesures techniques, administratives et de gestion, destinées à changer la fonction d'un bien.

➤ La révision

Ensemble complet d'examens et d'actions réalisés afin de maintenir le niveau requis de disponibilité et de sécurité.

➤ La reconstruction

Action suivant le démontage d'un bien et la réparation ou le remplacement des composants qui approchent de la fin de leur durée de vie utile et/ou devraient être systématiquement remplacés.

La reconstruction diffère de la révision en ce qu'elle peut inclure des modifications et/ou améliorations.

L'objectif de la reconstruction est normalement de donner à un bien une vie utile qui peut être plus longue que celle du bien d'origine. [5]

II.2.9 Les temps de la maintenance :

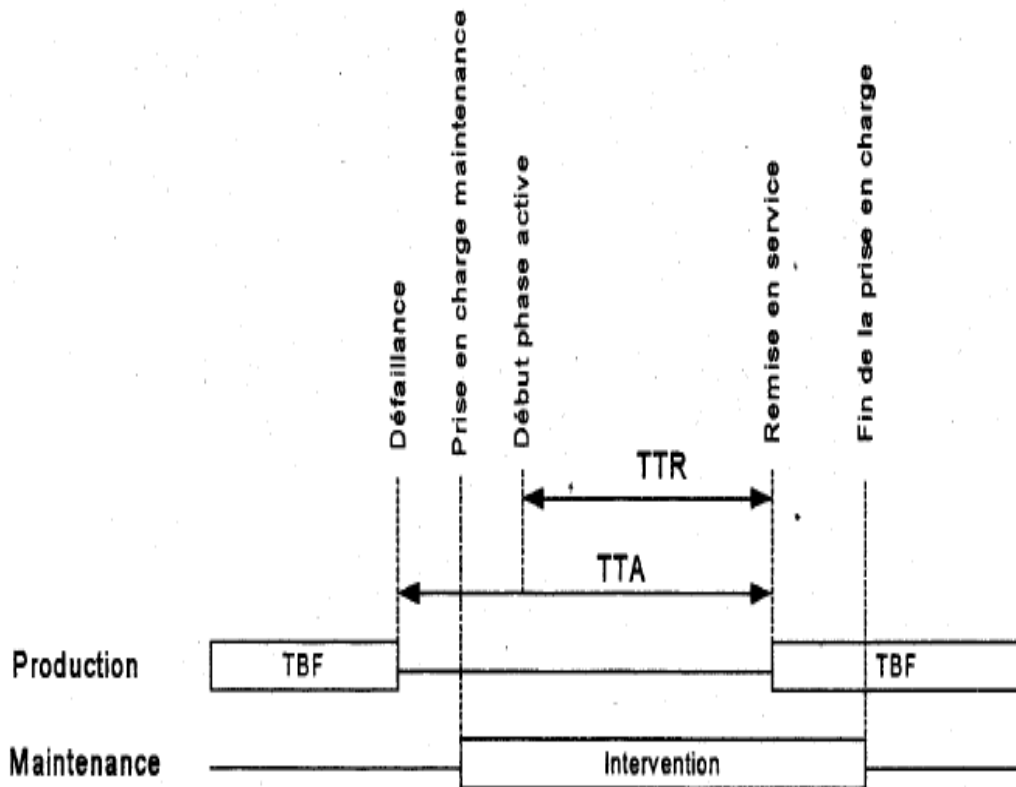


Figure (02) : Temps caractéristiques lors d'une intervention

a) La MTBF

La MTBF est la moyenne des temps de bon fonctionnement (TBF).

Un temps de bon fonctionnement est le temps compris entre deux défaillances. [5]

Remarque : En anglais, MTBF signifie mean time between failures (*norme X60-500*).

b) La MTTR

La MTTR 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. [5]

Remarque : En anglais, MTTR signifie mean time to restoration (*norme X60-500*)

c) La MTTA

La MTTA 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 et, ce faisant, sont à distinguer des arrêts inhérents à la production (attente de pièce, de matière, d'énergie, changement de production, etc.). [5]

II.2.10 Niveaux et échelons de maintenance :**a) Les niveaux de maintenance : (norme FD X 60-000)**

La maintenance et l'exploitation d'un bien s'exercent à travers de nombreuses opérations, parfois répétitives, parfois occasionnelles, communément définies jusqu'alors en cinq niveaux de maintenance.

Les cinq niveaux de maintenance (norme FD X 60-000)

Niveaux	Définition	Personnel d'intervention	Moyens
1	Réglages simples prévus par le constructeur au moyen d'organes accessibles sans aucun démontage d'équipement ou échange d'éléments accessibles en toute sécurité.	Exploitant sur Place.	Outillage léger défini dans les conditions d'utilisation.
2	Dépannage par échange standard d'éléments prévus à cet effet ou d'opérations mineures de maintenance préventives (rondes).	Technicien habilité, sur place.	Idem, plus les pièces de rechange trouvées à proximité, sans délai.
3	Identification et diagnostic de panne, réparation par échange de composants fonctionnels, réparations mécaniques mineures.	Technicien spécialisé, sur place ou en local de maintenance	Outillage prévu, plus des appareil de mesure, banc d'essai, contrôle...
4	Travaux importants de maintenance corrective ou préventive.	Equipe encadrée par un technicien spécialisé (atelier central).	Outillage général plus spécialisé, matériel d'essai, de contrôle...
5	Travaux de rénovation de reconstruction ou réparations importantes confiées à un atelier central.	Equipe complète, polyvalente (atelier central)	Moyens proches de la fabrication par le constructeur.

Tableau(01) : Les cinq niveaux de maintenance [6]

b) Les échelons de maintenance : (*norme FD X 60-000*)

Il est important de ne pas confondre les niveaux de maintenance avec la notion d'échelon de maintenance qui spécifie l'endroit où les interventions sont effectuées. On définit généralement trois échelons qui sont :

- ✚ la **maintenance sur site** : l'intervention est directement réalisée sur le matériel en place.
- ✚ la **maintenance en atelier** : le matériel à réparer est transporté dans un endroit, sur site, approprié à l'intervention.
- ✚ la **maintenance chez le constructeur** ou une **société spécialisée** : le matériel est alors transporté pour que soient effectuées les opérations nécessitant des moyens spécifiques.

Bien que les deux concepts de niveau et d'échelon de maintenance soient bien distincts, il existe souvent une corrélation entre le niveau et l'échelon.

Les opérations de niveaux 1 à 3, par exemple, s'effectuant sur site, celles de niveau 4 en atelier, et celles de niveau 5 chez un spécialiste hors site (constructeur ou société spécialisée). Si cela se vérifie fréquemment (dans le domaine militaire par exemple), il convient cependant de ne pas en faire une généralité. On peut rencontrer en milieu industriel des tâches de niveau 5 effectuées directement sur site. [5]

II .3 Etude de la fiabilité

II .3.1 Introduction

La fiabilité s'intéresse à l'ensemble des mesures à prendre pour qu'un produit. un système ou une entité fonctionne sans défaillance ou avec une fréquence de défaillance suffisamment faible pour être acceptable dans l'usage prévu.

Sa conservation concerne la maintenabilité qui s'occupe de ce qu' 'il faut faire pour qu'un produit soit ramené dans des conditions aussi proches que possible de celles prévues au début de son fonctionnement.

Le but de la fiabilité et de la maintenabilité est de garantir au client un usage prévu au coût total minimal pendant la période spécifiée, dans des conditions d'entretien et de réparation précises.

II .3.2 Définition

La fiabilité caractérise l'aptitude d'un système ou d'un matériel à accomplir une fonction requise dans des conditions données pendant un intervalle de temps donné ". [7]

II .3.3 Intérêt de l'étude de la fiabilité

L'analyse de la fiabilité d'un système permet de modéliser et de prévoir sa durée de vie (dans le cas d'un système non réparable) ou son temps de bon fonctionnement (dans le cas d'un système réparable).

La connaissance de la durée de vie d'un système ou d'un composant permet de déterminer par exemple les périodicités dans le cas d'une maintenance préventive systématique. [5]

II .3.4 Objectifs et intérêts de la fiabilité en mécanique

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. [7]

II .3.5 Lois de fiabilité

En raison de la complexité des lois citées précédemment, nous nous étudierons que celles qui sont largement employées dans le calcul de la fiabilité des systèmes. [7]

On distingue :

- ✓ **Les lois discrètes :**
 - * La loi binomiale
 - * La loi de poisson

- ✓ **Les lois continues :**
 - * La loi log normale
 - * La loi exponentielle
 - * La loi Weibull

Outils d'analyse des défaillances :

Outil	Intérêt
graphe de Pareto ou méthode ABC	mise en évidence des actions prioritaires
modèle de WEI BULL	Étude de paramétrique du modèle de WEI BULL
diagramme causes-effet = Ishikawa = arête de poisson	recherche des causes d'une défaillance
Analyse fonctionnelle	Représenter les fonctions de tâche dans le compresseur
AMDEC	analyse prévisionnelle des défaillances

Tableau(02) : Outils d'analyse des défaillances

II .3.6 LE MODELE DE WEIBULL

La loi de Weibull est un modèle couramment employé pour modéliser la durée vie d'un matériel.

Cela permet de déterminer par exemple les périodicités dans le cas d'une maintenance préventive systématique.

La loi de Weibull est très souple d'utilisation, ce qui lui permet de s'ajuster à un grand nombre d'échantillons prélevés au long de la vie d'un équipement. Elle couvre les cas de taux de défaillance variables, décroissants (périodes de jeunesse), ou croissant (période de vieillesse).

Elle permet d'ailleurs, à partir des résultats obtenus de déterminer dans quelle période de sa vie se trouve le système étudié. [5]

II .3.6.1 Méthodes d'approximation des valeurs de la fonction de répartition:

On dispose pour nos études de fiabilité d'un certain nombre de données expérimentales ou réelles sur les TBF ; TBF dont on veut étudier la fonction de répartition.

Ces données représentent un échantillon « n » de la population que l'on veut appréhender.

Elles doivent être classées par ordre croissant de durée (en heures, jours, etc.), suivant l'unité la plus adaptée.

L'estimation de la fonction de densité pour une durée t_i est donnée par :

$$f(t_i) = \frac{i}{n+1} \quad (\text{II.1})$$

Or, ce n'est pas la fonction de densité qui nous intéresse mais la fonction de répartition $F(t_i)$. Cette fonction de répartition peut être estimée selon plusieurs méthodes dont 2 sont particulièrement applicables pour les lois de fiabilité (exponentielle et Weibull) : ce sont les

méthodes des **rangs médians** et des **rangs moyens**. Le choix entre l'une ou l'autre des méthodes est fonction de la taille « n » de l'échantillon. [8]

- Si $n \leq 20$, on utilise la méthode des rangs médians et $F(ti) = \frac{i-0,3}{n+0,4}$
- Si $n > 20$, on utilise la méthode des rangs moyens et $F(ti) = \frac{i}{n+1}$

II .3.6.2 La loi de Weibull

Proposée par l'ingénieur et mathématicien suédois Ernst Hjalmar Waloddi Weibull (1887-1979), la loi de Weibull est une loi de probabilité à 3 paramètres qui est très utilisée pour modéliser la durée de vie des produits en raison de sa grande flexibilité. [7]

a) **Densité de probabilité f(t) :**

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

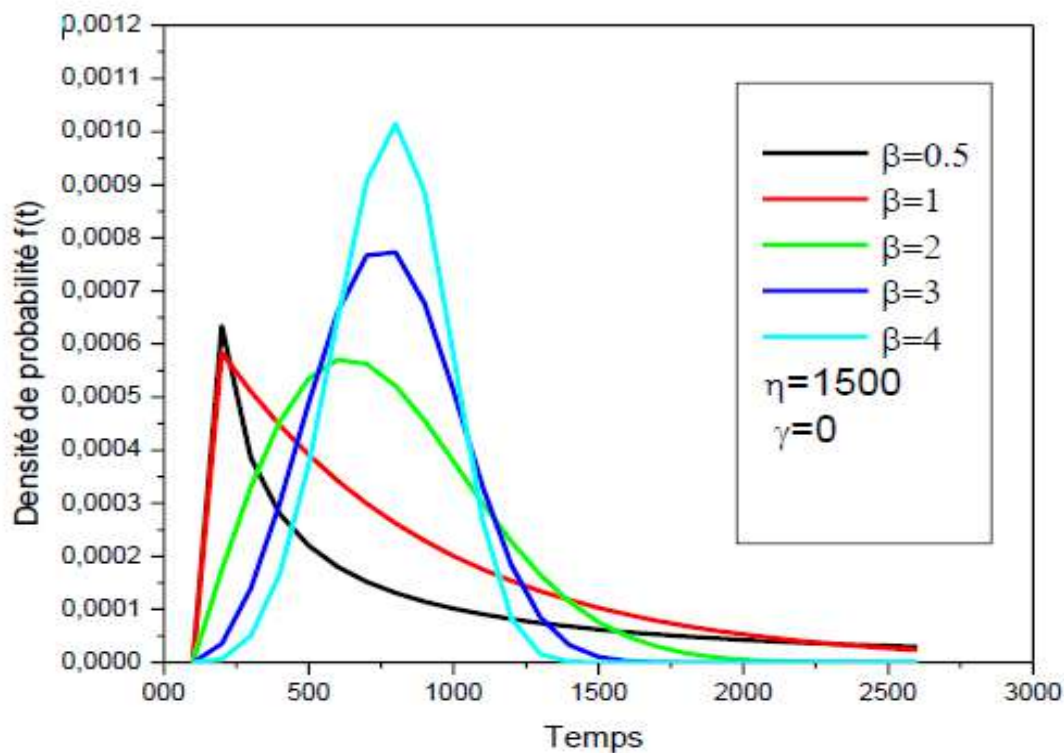


Figure (03) : Courbe théorique (densité de probabilité f(t)) [7]

b) **Fonction de fiabilité R (t)**

La forme générale de la fonction de fiabilité est désignée par **R (t)** représentant la probabilité de bon fonctionnement à l'instant t.

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

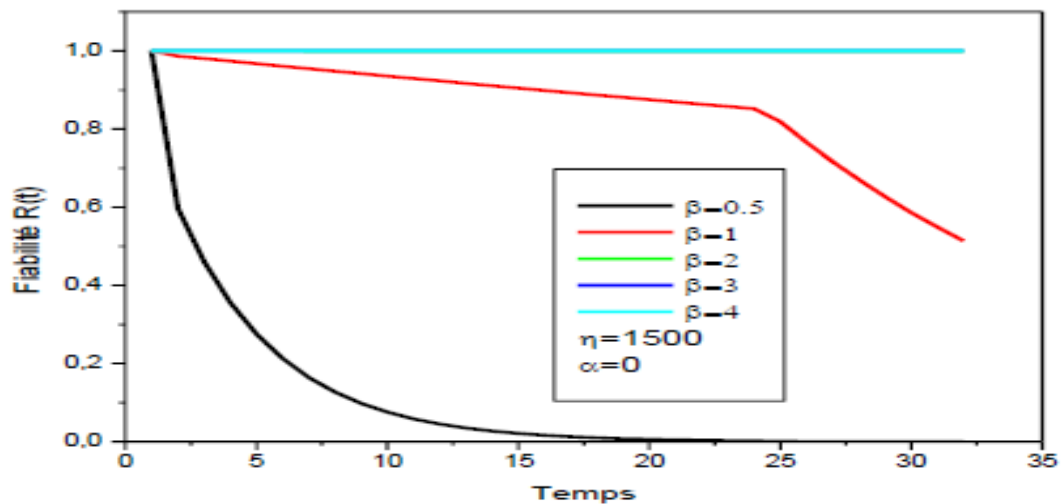


Figure (04) : Courbe théorique (Fiabilité) [7]

Avec les paramètres de signification :

γ, β, η définissent la distribution de Weibull.

On utilise trois paramètres :

- β : paramètre de forme ($\beta > 0$)
- γ : paramètre de position ($-\infty > \gamma > +\infty$)
- η : paramètre d'échelle ($\eta > 0$) [7]

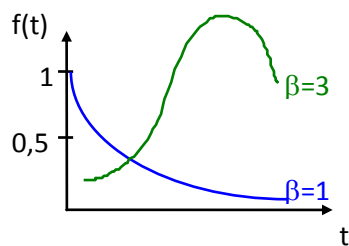
Signification des paramètres :

✓ Paramètre d'échelle éta (η): Ce paramètre permet d'utiliser le papier d'Allan Plait quelque soit l'ordre de grandeur de t. Il n'a donc pas à être interprété. [8]

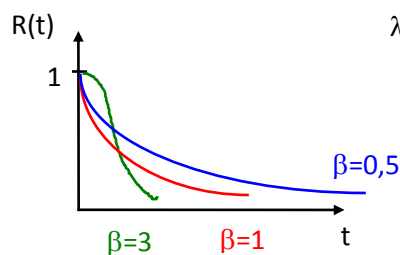
✓ Paramètre de forme bêta (β): Ce paramètre donne des indications sur le mode des défaillances et sur l'évolution du taux de défaillances dans le temps. [8]

$\beta \rightarrow$ Paramètre de forme >0 sans dimension:

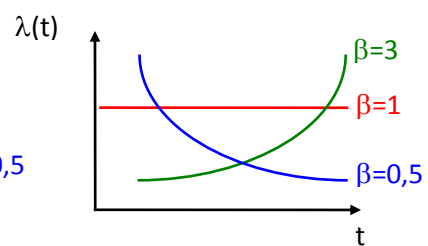
- Si $\beta > 1$, le taux de défaillance est croissant, caractéristique de la zone de vieillesse
- ✓ $1,5 < \beta < 2,5$: fatigue
- ✓ $3 < \beta < 4$: usure, corrosion
- Si $\beta = 1$, le taux de défaillance est constant, caractéristique de la zone de maturité
- Si $\beta < 1$, le taux de défaillance est décroissant, caractéristique de la zone de jeunesse



Figure(5) : la densité



figure(6) : la fiabilité



figure(7) : Le taux de défaillance

Remarque : pour $\gamma=0$ et $\beta=1$, on retrouve la distribution exponentielle, cas particulier de la loi

$$\text{de Weibull : } \lambda = \frac{1}{\eta} = \frac{1}{MTBF} \quad (II.4)$$

$\eta \rightarrow$ Paramètre d'échelle >0 qui s'exprime dans l'unité de temps

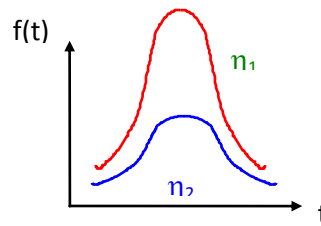
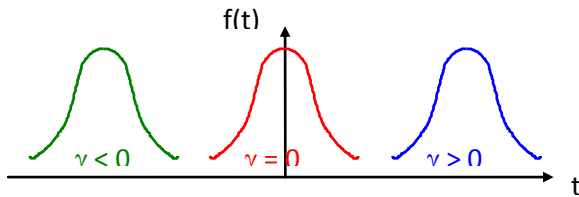


Figure (8) : la densité

$\gamma \rightarrow$ paramètre de position, $-\infty < \gamma < +\infty$, qui s'exprime dans l'unité de temps :



Figure(9) : la densité

- $\gamma > 0$: survie totale sur l'intervalle de temps $[0, \gamma]$
- $\gamma = 0$: les défaillances débutent à l'origine des temps
- $\gamma < 0$: les défaillances ont débuté avant l'origine des temps ; ce qui montre que la mise en service de l'équipement étudié a précédé la mise en historique des TBF

La courbe théorique de distribution est donnée à la figure. [8]

c) **fonction de répartition F (t) :** la probabilité que le dispositif soit en panne à l'instant t. Elle est exprimée par :

$$F(t) = 1 - e^{-\left[\frac{t-\gamma}{\eta}\right]^\beta} \quad (II.5)$$

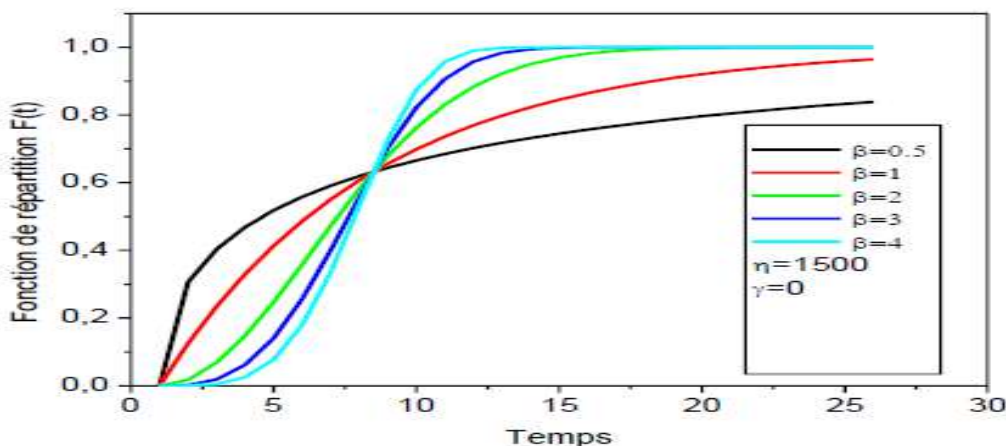


Figure (10) : Courbe théorique (fonction de répartition) [7]

d) **Taux de défaillance**

Son taux instantané de défaillance $\lambda(t)$ est un estimateur de fiabilité. Il s'exprime par :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{t-\gamma}{\eta}\right]^{\beta-1} \quad (II.6)$$

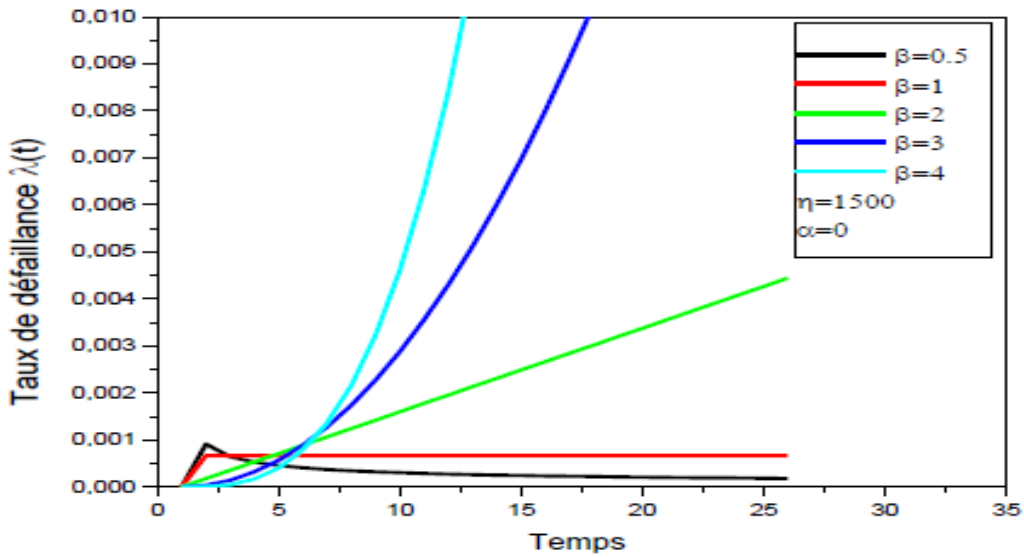


Figure (11) : Courbe théorique (Taux de défaillance) [7]

II .3.6.3 Domaine d'application

La distribution de Weibull 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. [7]

II .3.6.4 Détermination graphique des paramètres de la loi de Weibull :

La courbe est tracée sur un papier spécial appelé papier de Weibull ou d'Allen Plait, ce qui permet de tracer une droite et de Simplifier les calculs. [5]

a) Schématisation des axes

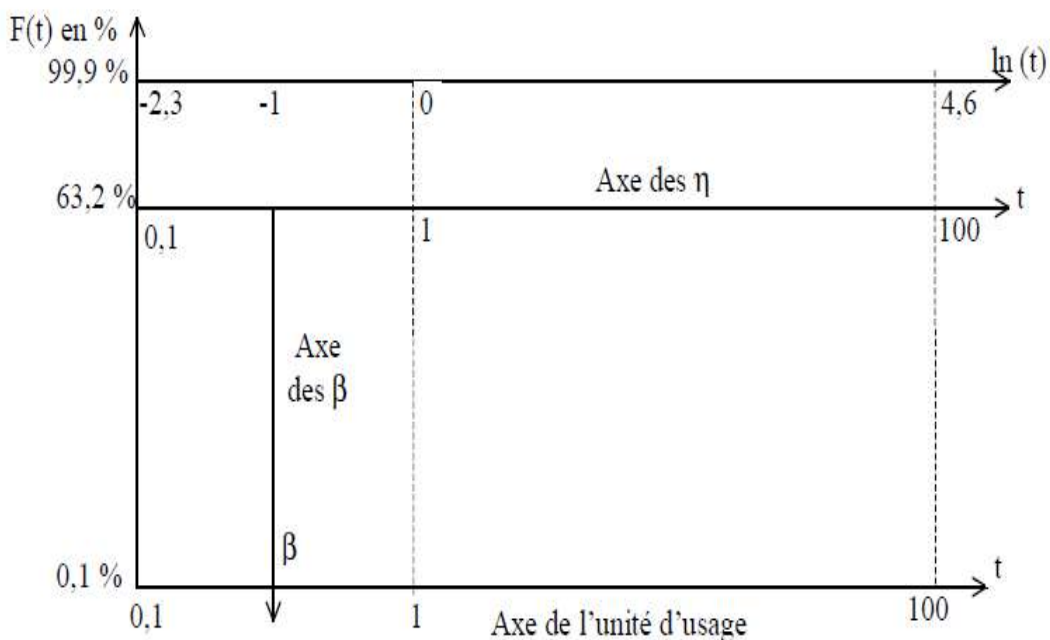


Figure (12) : Schématisation des axes

b) Aspect du papier de Weibull

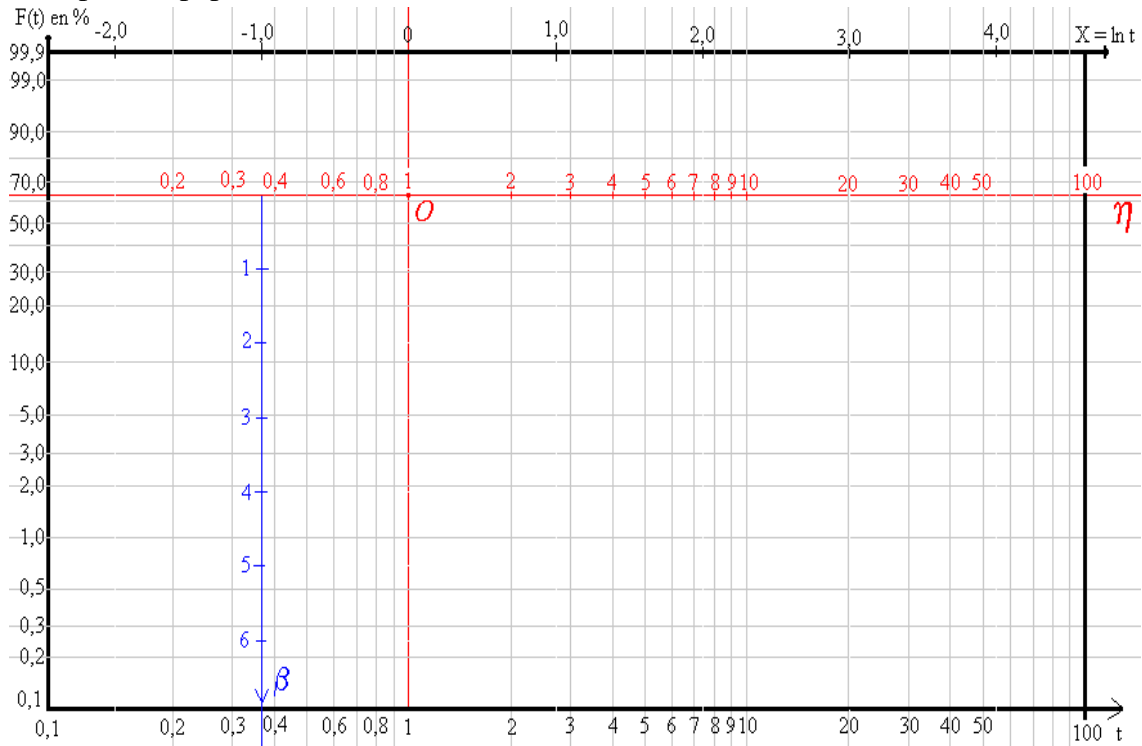


Figure (13) : Papier de Weibull

II .3.6.5 Méthodologie de Weibull :

✓ Consulter les historiques de pannes et dresser la liste des temps de bon fonctionnement entre deux défaillances.

Classer ces temps par ordre croissant.

✓ Cumuler le nombre de défaillances (rang). Au premier temps il y a 1 avarie, au deuxième temps, il y en a 2, etc.

✓ Calculer les fréquences des avaries $F(i)$, en fonction de la taille N de l'échantillon

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

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 (gamma) afin d'obtenir une droite.

✓ Reporter les points ainsi trouvés sur le papier de Weibull en plaçant les TBF en abscisse et les $F(i)$ en ordonnée.

✓ Tracer la droite passant au mieux par les points obtenus.

Si les points sont alignés sur une droite, on a $\gamma = 0$. [5]

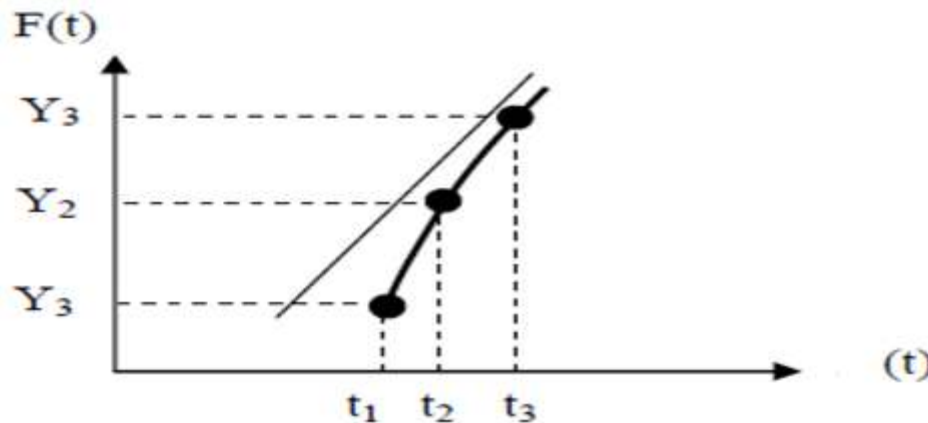


Figure (14) : Méthodologie de Weibull [9]

Si les points correspondent à une loi de Weibull, on peut écrire la condition de linéarité : [10]

$$\left[\frac{(Y_3 - Y_2)}{(\ln(t_3 - \gamma) - \ln(t_2 - \gamma))} \right] = \left[\frac{(Y_2 - Y_1)}{(\ln(t_2 - \gamma) - \ln(t_1 - \gamma))} \right]$$

De plus, si les 3 points sont choisis tels que $Y_3 - Y_2 = Y_2 - Y_1$ on obtient :

$$\ln(t_3 - \gamma) - \ln(t_2 - \gamma) = \ln(t_2 - \gamma) - \ln(t_1 - \gamma) \rightarrow \left[\frac{(t_3 - \gamma)}{(t_2 - \gamma)} = \frac{(t_2 - \gamma)}{(t_1 - \gamma)} \right] \rightarrow (t_3 - \gamma)(t_1 - \gamma) = (t_2 - \gamma)^2$$

Soit :

$$\gamma = \frac{(t_2)^2 - t_1 t_3}{(2t_2 - (t_1 + t_3))} \quad (\text{II.7})$$

II.3.7 La Maintenabilité

Définition

Dans des conditions données, la maintenabilité est l'aptitude d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état où il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits.

Maintenabilité = être rapidement dépanné [7]

C'est aussi la probabilité de rétablir un système dans des conditions de fonctionnement spécifiées, en des limites de temps désirées, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits. [7]

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.).
- **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). [7]

Calcul de la maintenabilité :

La maintenabilité peut se caractériser par sa MTTR.

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

$MTTR = (\sum \text{Temps d'intervention pour } n \text{ pannes}) / (n \text{ pannes})$

Taux de réparation μ

$$\mu = \left[\frac{1}{MTTR} \right] \quad (II.8)$$

II.3.8 La disponibilité

Définition

Aptitude d'un bien à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou durant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires est assurée.

Cette aptitude dépend de la combinaison de la fiabilité, de la maintenabilité et de la logistique de maintenance.

Les moyens extérieurs nécessaires autres que la logistique de maintenance n'affectent pas la disponibilité du bien (NF EN 13306). [7]

Quantification de la disponibilité :

La disponibilité peut se mesurer :

- a) sur un intervalle de temps donné (disponibilité moyenne),
- b) à un instant donné (disponibilité instantanée),
- c) à la limite, si elle existe, de la disponibilité instantanée lorsque $t \rightarrow \infty$ (disponibilité asymptotique) [7]

Les types de Disponibilité

a) Disponibilité moyenne

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

$$D_o = \frac{TCBF}{(TCBF + TCI)} \quad (II.9)$$

Où :

- TCBF = temps cumulé de bon fonctionnement.
- TCI = Temps cumulé d'immobilisation.

b) 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. [7]

Le calcul de la disponibilité intrinsèque **Di** fait appel à 3 paramètres :

TBF : temps de bon fonctionnement

TTR : temps techniques de réparation

TTE : temps techniques d'exploitation

$$D_i = \frac{TBF}{(TBF+TTR+TTE)} \quad (II.10)$$

c) 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 **Do** 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). [8]

II.4 Diagramme causes-effet (ou ISHIKAWA ou en ARETE DE POISSON)

La méthode 5M est une méthode d'analyse qui sert à rechercher et à représenter de manière synthétique les différentes causes possibles d'un problème. Elle fut créée par le professeur Kaoru Ishikawa (1915-1989) d'où son appellation « Méthode d'Ishikawa ».

La méthode d'Ishikawa utilise une représentation graphique (diagramme) en forme de poisson pour matérialiser de manière structurée le lien entre les causes et leur effet (défaut, panne, dysfonctionnement...). Ce qui d'autre part lui a valu les appellations de « **diagramme en arêtes de poisson** », et « **diagramme de causes à effet** » **Caractéristiques et démarche de la méthode Ishikawa**

Kaoru Ishikawa classe les différentes causes d'un problème en 5 grandes familles :
Les **5M** :

- **Matière** : les différents consommables utilisés, matières premières...
- **Milieu** : le lieu de travail, son aspect, son organisation physique...
- **Méthodes** : les procédures, le flux d'information...
- **Matériel** : les équipements, machines, outillages, pièces de rechange...
- **Main d'œuvre** : les ressources humaines, les qualifications du personnel

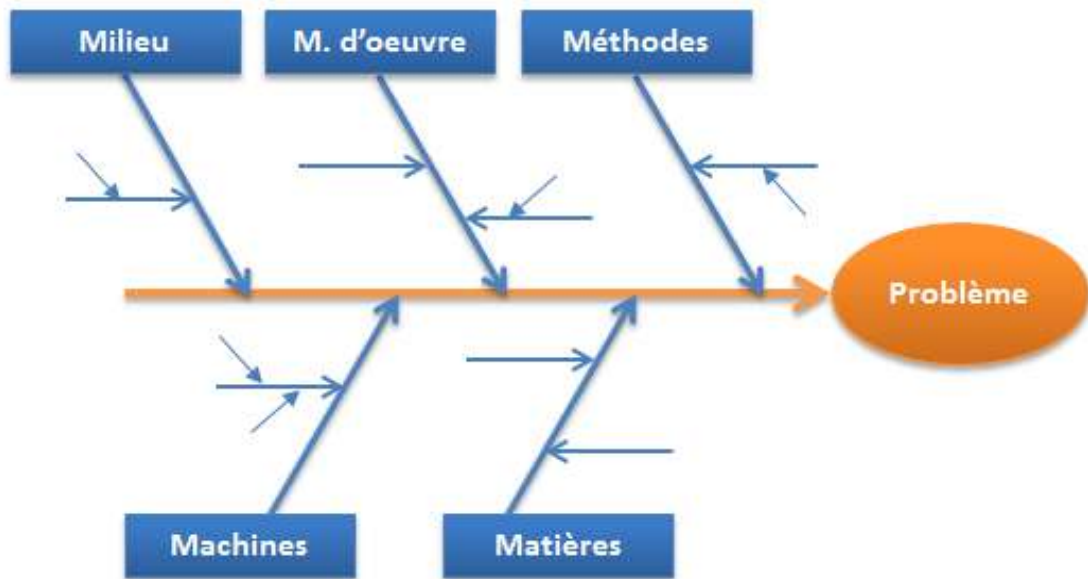


Figure (15) : Représentation graphique du diagramme de causes à effets

II.5 LA METHODE A.B.C

Définition

Méthode objective et efficace de choix basés sur la connaissance d'une période antérieure. Les résultats se présentent sous forme d'une courbe dite « Courbe A.B.C ». [10]

But :

Suggérer un choix. C'est à dire classer par ordre d'importance des éléments (produits, machines, pièces, opération) en fonction d'un critère de valeur retenu (France, heures, etc...). [10]

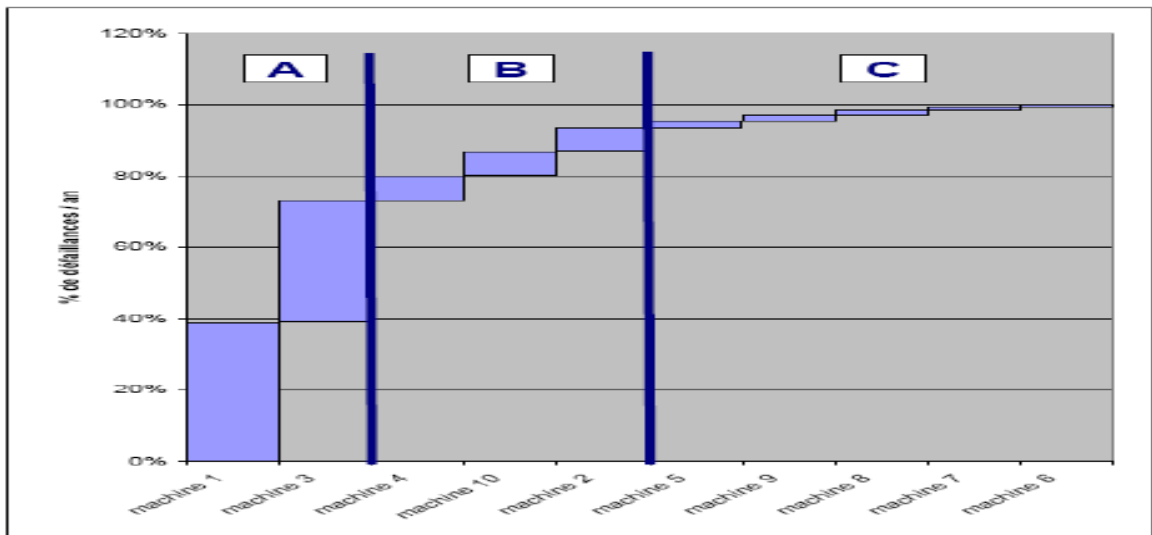


Figure (16) : « Courbe A.B.C. » [4]

Zone A: Pertes devant engendrer des actions prioritaires

Zone B: Pertes à prendre en compte si solutions peu coûteuses

Zone C: Pertes ne justifiant pas d'action

II.6 Analyse fonctionnelle

II.6.1 LE S.A.D.T. : ANALYSE DESCENDANTE ET LIENS INTER - FONCTIONNELLE

Technique structurée d'analyse et de modélisation des systèmes (Structured Analysis Design Technic) [8]

Une fonction est représentée par une « boîte » ou « module » SADT.

Une boîte SADT est située dans son contexte avec les autres boîtes ou modules, par l'intermédiaire de flèches de relation. Ces flèches symbolisent les contraintes de liaisons entre boîtes. Elles ne font pas office de commande ou de séquençage au sens strict [8]

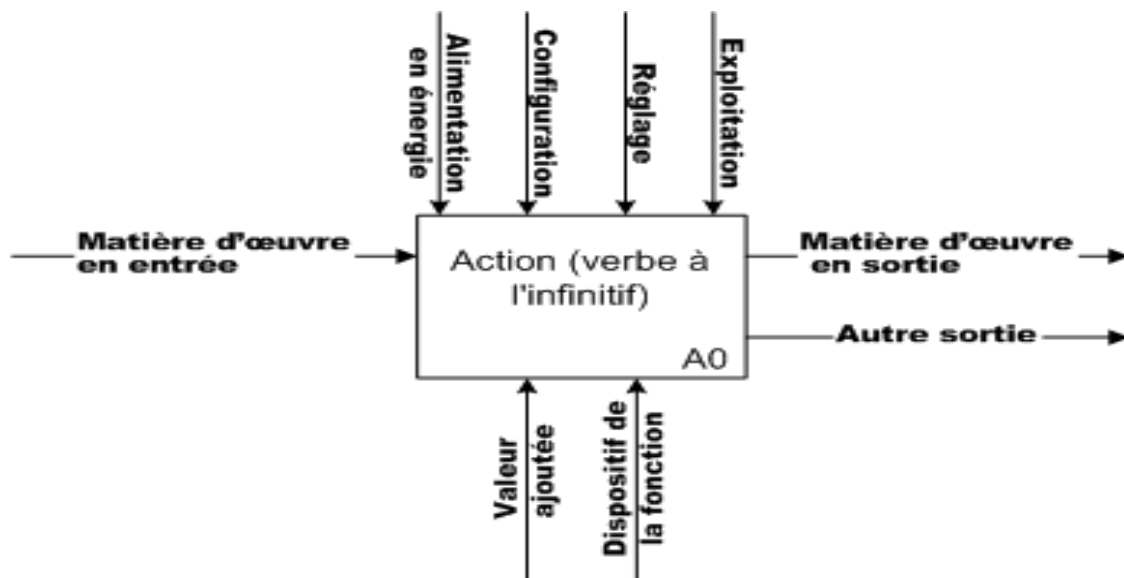


Figure (17) : S.A.D.T

II.6.2 LA PIEUVRE

Cet outil identifie les fonctions d'un système ou d'un produit, recherche les fonctions attendues et leurs relations dans l'analyse fonctionnelle du besoin (ou analyse fonctionnelle externe).

L'identification des fonctions est très importante dans la vie d'un projet. D'une part, elles reflètent la description du besoin.

D'autre part, elles donneront des pistes d'orientation sur le choix des différents scénarios à analyser.

Il est important que la formulation de la fonction soit indépendante des solutions susceptibles de la réaliser.

La pieuvre est un excellent outil de représentation des fonctions et de leurs relations avec l'objet étudié. Son avantage principal est de présenter synthétiquement et de manière conviviale ce que la littérature décrirait dans un document très long et peu explicite. [8]

II.7 iEtude AMDEC

AMDEC : (ANALYSE DES MODES DE DEFAILLANCE, DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITE)

II.7.1 Définition

La méthode AMDEC est l'Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité. L'AMDEC est un outil utilisé dans la démarche qualité et dans le cadre de la sûreté de fonctionnement. [4]

L'AMDEC consiste à analyser :

- les défaillances,
- leurs causes,
- leurs effets

II.7.2 Objectifs de l'AMDEC

L'AMDEC est une procédure d'analyse des modes de défaillance et de leurs effets. [4]

On distingue 2 types d'AMDEC :

- Amélioration de la conception
Définition de la maintenance
- Amélioration de la maintenance
Modification ponctuelle de la conception

II.7.3 Méthodologie d'une AMDEC

- ✓ Constitution d'un groupe de travail
 - ✓ Décomposition fonctionnelle du système
 - ✓ Evaluation des défaillances potentielles
 - ✓ Détermination des modes de défaillance, de leurs effets et de leurs causes
 - ✓ Evaluation et notation de chaque cause de défaillance
- D : probabilité de non détection de la cause de la défaillance
- F : probabilité d'apparition ou d'occurrence de la cause de la défaillance
- G : gravité de la défaillance
- ✓ Calcul de criticité et hiérarchisation

L'indice de criticité C est obtenu par : $C = D \times F \times G$.

- ✓ Déduction des actions correctives à mener [4]

II .7.4 Types de l'AMDEC

Il existe plusieurs types de la méthode d'analyse :

▪ L'AMDEC organisation

L'AMDEC s'applique aux différents niveaux du processus d'affaires, du première niveau qui englobe le système de gestion, le système d'information, le système production, le système personnel, le système marketing et le système finance, jusqu'au dernier niveau comme l'organisation d'une tâche de travail

▪ L'AMDEC-Produit

Elle est utilisée pour l'aide à la validation des études de définition d'un nouveau produit fabriqué par l'entreprise. Elle est mise en œuvre pour évaluer les défauts potentiels du nouveau produit et leurs causes. Cette évaluation de tous les défauts possibles permettra d'y remédier, après hiérarchisation, par la mise en place d'actions correctives sur la conception et préventives sur l'industrialisation

▪ L'AMDEC-Processus

Elle est utilisée pour étudier les défauts potentiels d'un produit nouveau ou non, engendrés par le processus de fabrication. S'il s'agit d'un nouveau procédé, l'AMDEC-Processus en permettra l'optimisation, en visant la suppression des causes de défaut pouvant agir négativement sur le produit. S'il s'agit d'un procédé existant, elle permettra l'amélioration.

▪ L'AMDEC moyen

Permet d'anticiper les risques liés au non-fonctionnement ou fonctionnement anormal d'un équipement, d'une machine.

▪ L'AMDEC service

S'applique pour vérifier que la valeur ajoutée réalisée dans le service correspond aux attentes des clients et que le processus de réalisation de service n'engendre pas de défaillance.

▪ L'AMDEC sécurité

S'applique pour assurer la sécurité des opérateurs dans les procédés où il existe des risques pour ceux-ci.

II .7.5 Tableau les indices de défaillance :

Indice	Valeur	Indice de défaillance
Indice de fréquence F	1	Défaillance pratiquement inexistante
	2	Défaillance rarement apparue (un défaut par années)
	3	Défaillance occasionnellement apparue (un défaut par trimestre)
	4	Défaillance fréquemment apparue (un défaut par mois)
Indice de gravité G	1	Défaillance mineure : aucune dégradation notable du matériel (TI < 10 min).
	2	Défaillance moyenne = une remise en état de courte durée (10 min < TI < 30 min).
	3	Défaillance majeure = une intervention de longue durée (30 min < TI < 90 min). Où Non-conformité du produit, constatée dans l'entreprise et corrigée.
	4	Défaillance catastrophique = une grande intervention (TI > 90 min) où Non-conformité du produit, constatée par un client aval (interne à l'entreprise).
	5	Sécurité/Qualité : accident provoquant des problèmes de sécurité des personnes, lors du dysfonctionnement ou lors de l'intervention. Où Non-conformité du produit envoyé en clientèle.
Indice de non détection D	1	Les dispositions prises assurent une détection totale de la cause initiale ou du mode de défaillance, permettant d'éviter les effets sur la production.
	2	Il existe un signe avant-coureur la défaillance mais il y a risque

Tableau(03) : les indices de défaillance [12]

II .8 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté des généralité 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 et AMDEC pour l'absence de défauts causés par ces compresseurs en raison de leur importance dans cette entreprise.

Chapitre III
Partie calcul

III Partie calcul

III.1 Introduction :

Le compresseur est un équipement qui a un rôle très important dans notre société, Les arrêts de production dus aux pannes au niveau des équipements, sont la principale raison des pertes. Pour garantir une production stable dans un niveau optimal, il faut lutter contre toute sorte de perte (pannes).

Pour mener une étude structurée de base scientifique, nous avons fait appel à plusieurs méthodes, comme principalement ABC pour déterminer la cause critique des compresseurs, Ishikawa et l'AMDEC pour l'analyse des modes de défaillances.

III.2 Exploitation de l'historique :

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

Le traitement des données brutes de l'historique (tableau), 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.

N°	Date de démarrage	Date d'arrêt	TBF (h)	TTR (h)	Cause	Action
1	12/09/2003	27/05/2010	58776	04	Contacteur de puissance	Changement de Contacteur
2	27/05/2010	23/10/2011	12332	01	Fusible 16A-2A	Changement Fusible
3	23/10/2011	17/03/2014	21023	24	Tête d'aspiration	Changement tête d'aspiration
4	18/03/2014	04/12/2014	6264	72	Roulement de moteur	Changement de roulement
5	07/12/2014	18/11/2015	8304	120	Température d'élément de compression MAX 120°C	Démontage et équilibrage la vis de compression
6	23/11/2015	08/02/2016	1848	24	Ventilateur de refroidissement	Changement de Ventilateur
7	09/02/2016	11/05/2016	2208	96	Refroidisseur d'air	Changement compresseur de gaz
8	15/05/2016	20/06/2016	864	24	radiateur de refroidissement	Nettoyage radiateur de refroidissement
9	21/06/2016	30/08/2016	1680	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

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

III.3 La méthodes : « ABC (Pareto) » :

N°	Organe	TTR(h)	Cumul TTR	TTR%	Nombre de panne	Cumulées des pannes	Cumulées de pannes %
1	Elément de compression	312	312	46.08	1	1	9.09
2	Température d'élément de compression MAX 120 °C	120	432	63.81	2	3	27.27
3	Refroidisseur d'air	96	528	77.99	1	4	36.36
4	Roulement de moteur	72	600	88.62	1	5	45.45
5	Radiateur de refroidissement	24	624	92.17	2	7	63.63
6	Ventilateur de refroidissement	24	648	95.71	1	8	72.72
7	Tête d'aspiration	24	672	99.26	1	9	81.81
8	Contacteur de puissance	4	676	99.85	1	10	90.90
9	Fusible 16A-2A	1	677	100	1	11	100

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

III.3.1 La Courbe de Pareto

Interprétation des résultats :**Zone "A":**

a travers la zone (A) nous trouvons qu'environ 27,27 des Organes constituent environ 63,81 des pannes totale du compresseur et ceci est l'endommagement des deux éléments (Elément de compression et Température d'élément de compression MAX 120°C et Refroidisseur d'air).

Zone "B":

Dans cette zone, les 36.36 % des Organes représentent 28.36% des pannes supplémentaire (Roulement de moteur et radiateur de refroidissement).

Zone "C":

Dans cette zone, les 36.37 % des Organes représentent 7.83% des pannes supplémentaire (Ventilateur de refroidissement, Tête d'aspiration, Contacteur de puissance. Fusible 16A-2A).

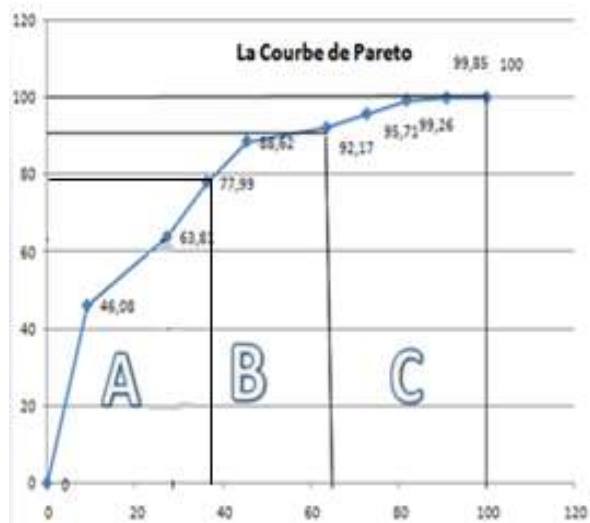


Figure (1) : La Courbe de Pareto

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

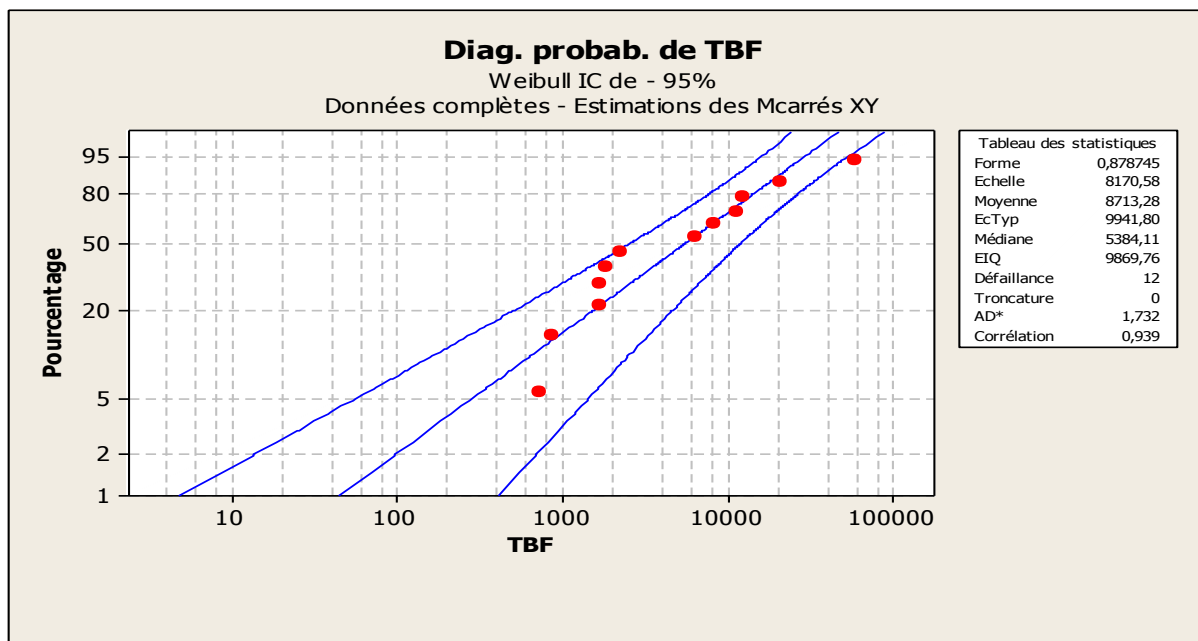
$$F(i) = \frac{\sum (ni - 0.3)}{(N+0.4)} \quad (III.1)$$

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

N°	TBF(h)	N	Σ ni	F(i)	F(i) %
1	720	1	1	0.0564	5.64
2	864	1	2	0.1370	13.70
3	1656	1	3	0.2177	21.77
4	1680	1	4	0.2983	29.83
5	1848	1	5	0.3790	37.90
6	2208	1	6	0.4596	45.96
7	6264	1	7	0.5403	54.03
8	8304	1	8	0.6209	62.09
9	11424	1	9	0.7016	70.16
10	12332	1	10	0.7822	78.22
11	21023	1	11	0.8629	86.29
12	58776	1	12	0.9435	94.35

Tableau (3) : Fonction de réparation réelle

III.4.1 La Courbe de Weibull :



Figure(2) : papier de Weibull en logiciel minitab16

$\beta=0.878745$

$\eta=8170.58$

$\gamma= 0$ 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 Annex2).

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

Tableau K-S

N	TBF	F(i)	F(t)	$D_{n,max} = F(i)-F(t) $
1	720	0.0564	0.1115	0.0551
2	864	0.1370	0.1296	0.0074
3	1656	0.2177	0.2180	0.0003
4	1680	0.2983	0.2205	0.0778
5	1848	0.3790	0.2372	0.1418
6	2208	0.4596	0.2714	0.1882
7	6264	0.5403	0.5469	0.0066
8	8304	0.6209	0.6373	0.0164
9	11424	0.7016	0.7388	0.0372
10	12332	0.7822	0.7620	0.0202
11	21023	0.8629	0.8991	0.0362
12	58776	0.9435	0.9965	0.0530

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

D'après la table de K-S :

$D_{Nmax} < D_{N\alpha}$ Ce qui veut dire que le modèle de Weibull est accepté.

Nous avons pris la valeur maximale $D_{Nmax} = |F(i) - F(t)|$.

$D_{Nmax} = 0.1882$ tandis que $D_{N,\alpha} = D_{12,0.20} = 0,295$ (voir sur table Annex2).

$0.1882 < 0.295$ 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= 1.0552 B=1.17 (voir sur table Annex1).

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

$$\text{MTBF} = 1.0552 * 8170.58 + 0 = 8621.59 \text{ h.}$$

a) La densité de probabilité en fonction de MTBF :

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

$$f(t) = \frac{0.878745}{8170.58} \left(\frac{8621.59}{8170.58}\right)^{0.878745-1} e^{-\left(\frac{8621.59}{8170.58}\right)^{0.878745}} = 0.000037$$

b) La fonction de répartition en fonction de MTBF :

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

$$F(t=\text{MTBF}) = 0.65 = 65\%$$

c) La fiabilité en fonction de MTBF :

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

$$R(\text{MTBF}) = 1 - 0.65 = 0.35 = 35\%$$

On remarque que la fiabilité du compresseur est faible

d) Le taux de défaillance en fonction de MTBF

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

$$\lambda(t=\text{MTBF}) = 0.00010 \text{ panne/heures.}$$

e) Calcul du temps souhaitable pour une intervention systématique

$$R(t) = 85\% \Rightarrow t = ?$$

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

$$\ln R(t) = -\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta = \ln(0.85) \Leftrightarrow -[\ln R(t)]^{1/\beta} = t/\eta \Rightarrow t = \eta[\ln(1/R(t))]^{1/\beta}.$$

$$t = 8170.58[\ln(1/0.85)]^{1/0.878745}$$

$$t_{\text{sys}} = 1033.40 \text{ heures.}$$

Pour garder la fiabilité des compresseurs 85% il faut intervenir chaque temps systématique 1033.40 h.

III.4.4 Étude de modèle de Weibull :

a) La fonction de la densité de probabilité :

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

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

TBF	720	864	1656	1680	1848	2208	6264	8304	11424	12332	21023	58776
f(t)x 10 ^{^(-5)}	12.8	12.2	10.5	10.1	9.8	5.6	5.03	3.8	3.1	2.8	1.2	0.05

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

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

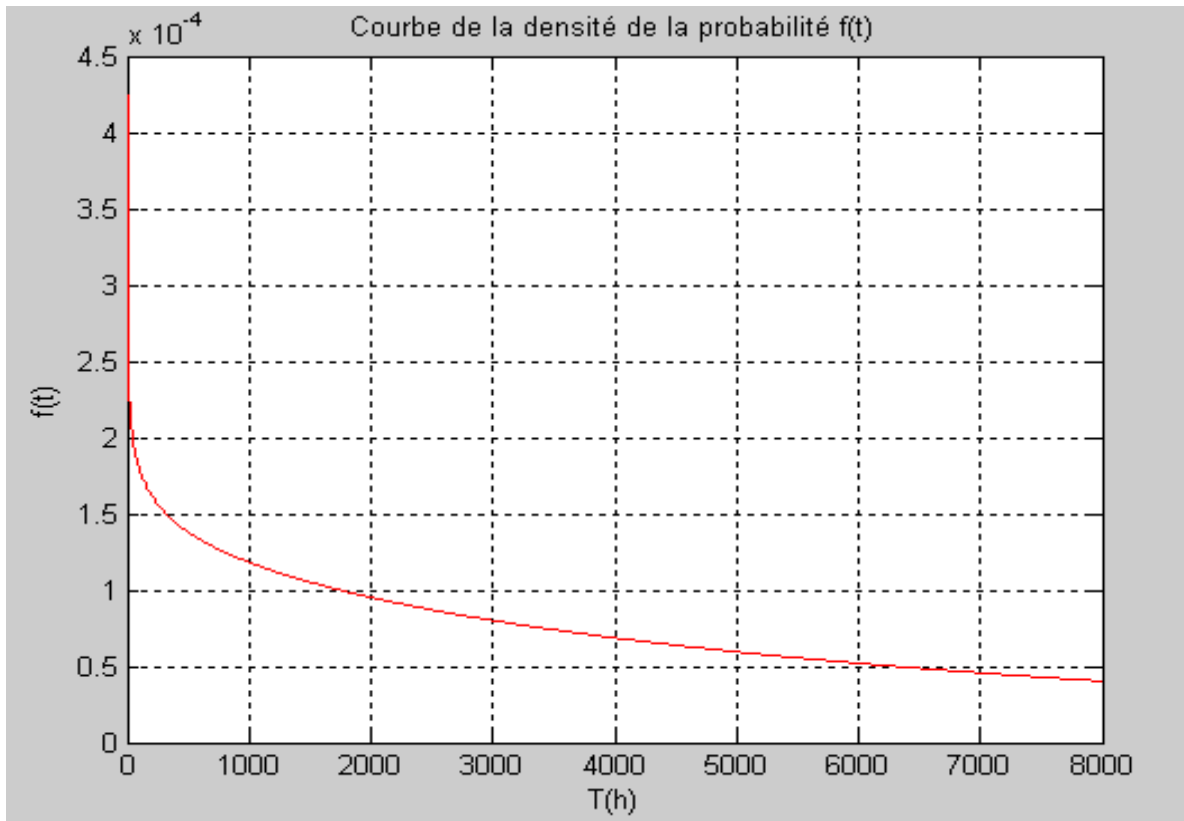


Figure (3) : La Courbe Densité De Probabilité (logiciel matlab)

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) :

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

TBF	720	864	1656	1680	1848	2208	6264	8308	11424	12332	21023	58776
F(t)	0.1115	0.1296	0.2180	0.2205	0.2372	0.2714	0.5469	0.6373	0.7388	0.7620	0.8991	0.9965

Tableau (06) : Fonction de répartition

Courbe fonction de répartition F(t) :

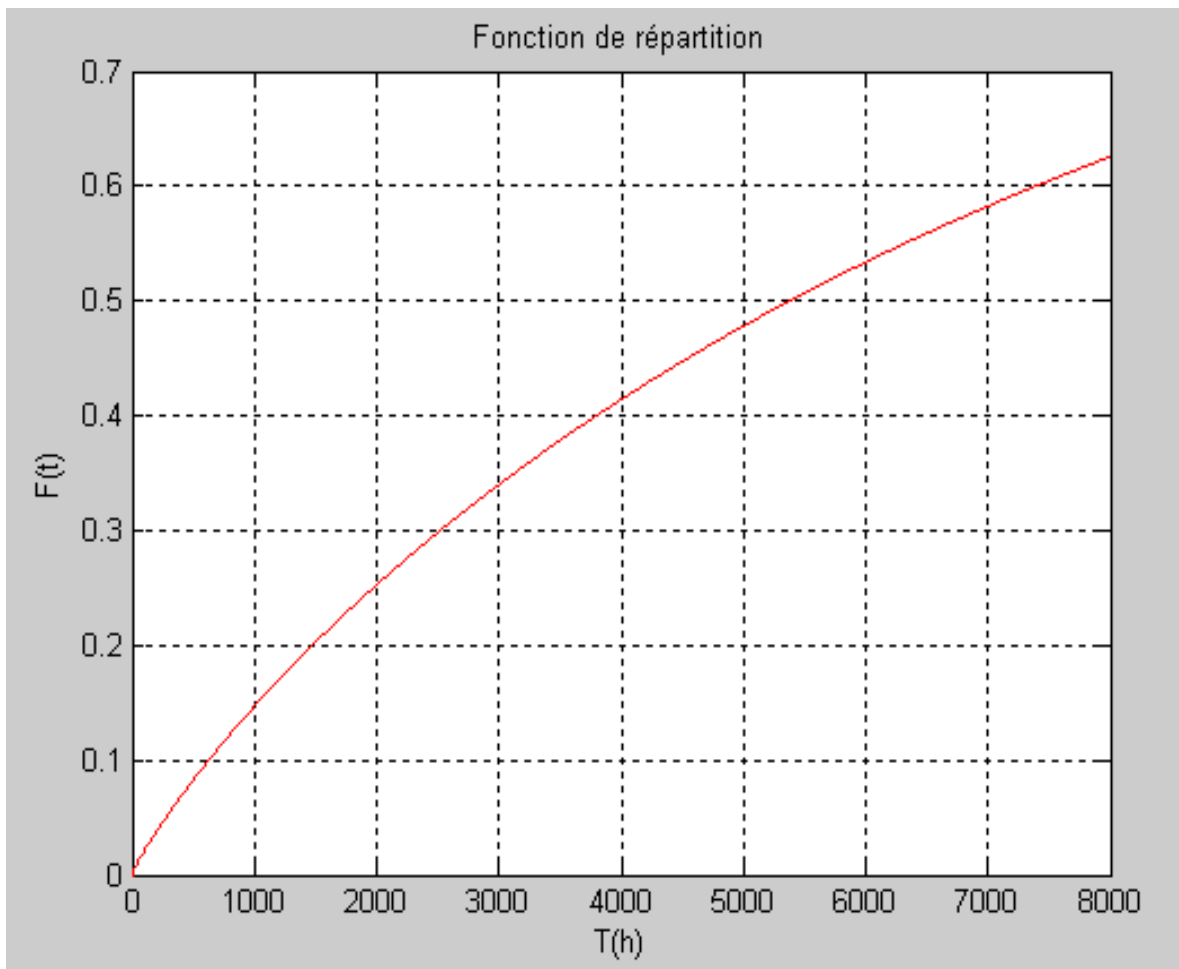


Figure (4) : La Courbe De Fonction Répartition (logiciel matlab)

Analyse de la courbe :

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

c) 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 $t = \text{MTBF}$

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

$$R(t = \text{MTBF}) = 0,35$$

TBF	720	864	1656	1680	1848	2208	6264	8308	11424	12332	21023	58775
R(t)	0.88	0.87	0.78	0.77	0.76	0.72	0.45	0.36	0.26	0.23	0.10	0.003

Tableau (07) : Calcul de la fiabilité

Courbe de la fiabilité :

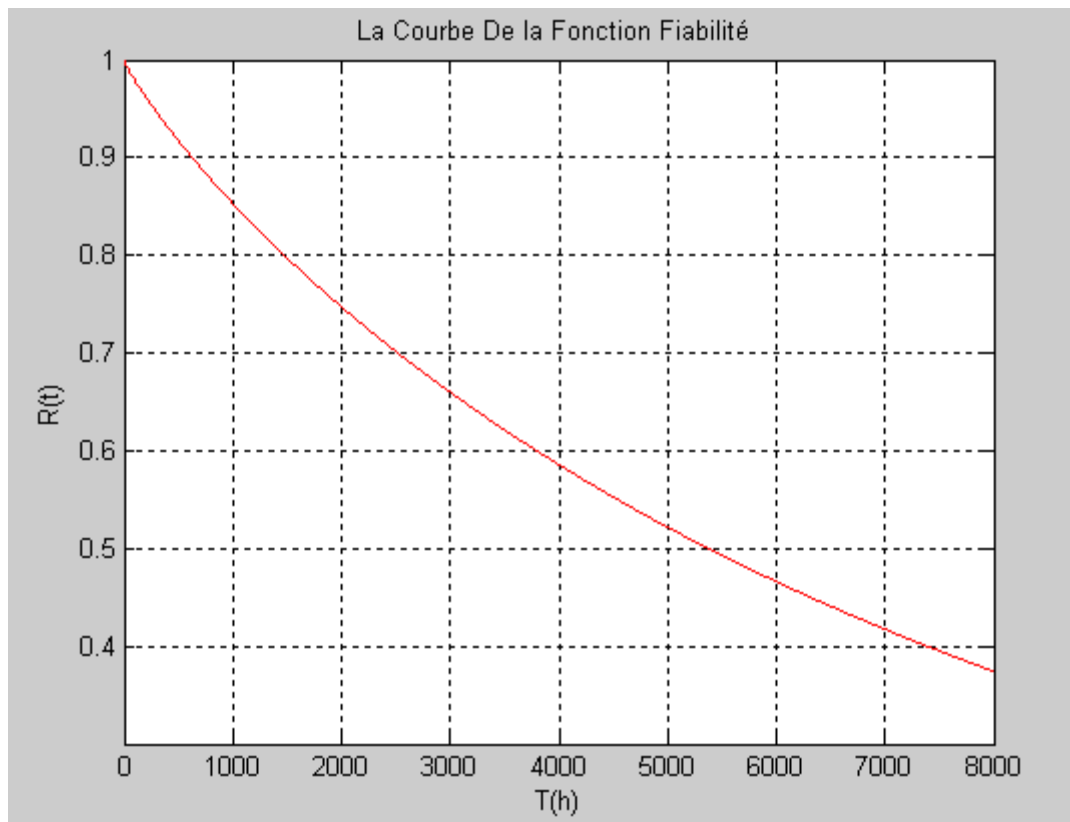


Figure (5) : La Courbe De la Fonction Fiabilité (logiciel matlab)

Analyse de la courbe :

Nous observons à travers la courbe que la fonction R(t) prend une grande valeur et diminue avec le temps jusqu'à ce qu'elle prenne des valeurs nulles.

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

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

TBF	720	864	1656	1680	1848	2208	6264	8304	11424	12332	21023	58776
$\lambda(t) \cdot 10^{-3}$	0.14	0.14	0.134	0.131	0.128	0.126	0.111	0.105	0.103	0.102	0.095	0.084

Tableau(8) : Le taux de défaillance

Courbe du taux de défaillance :

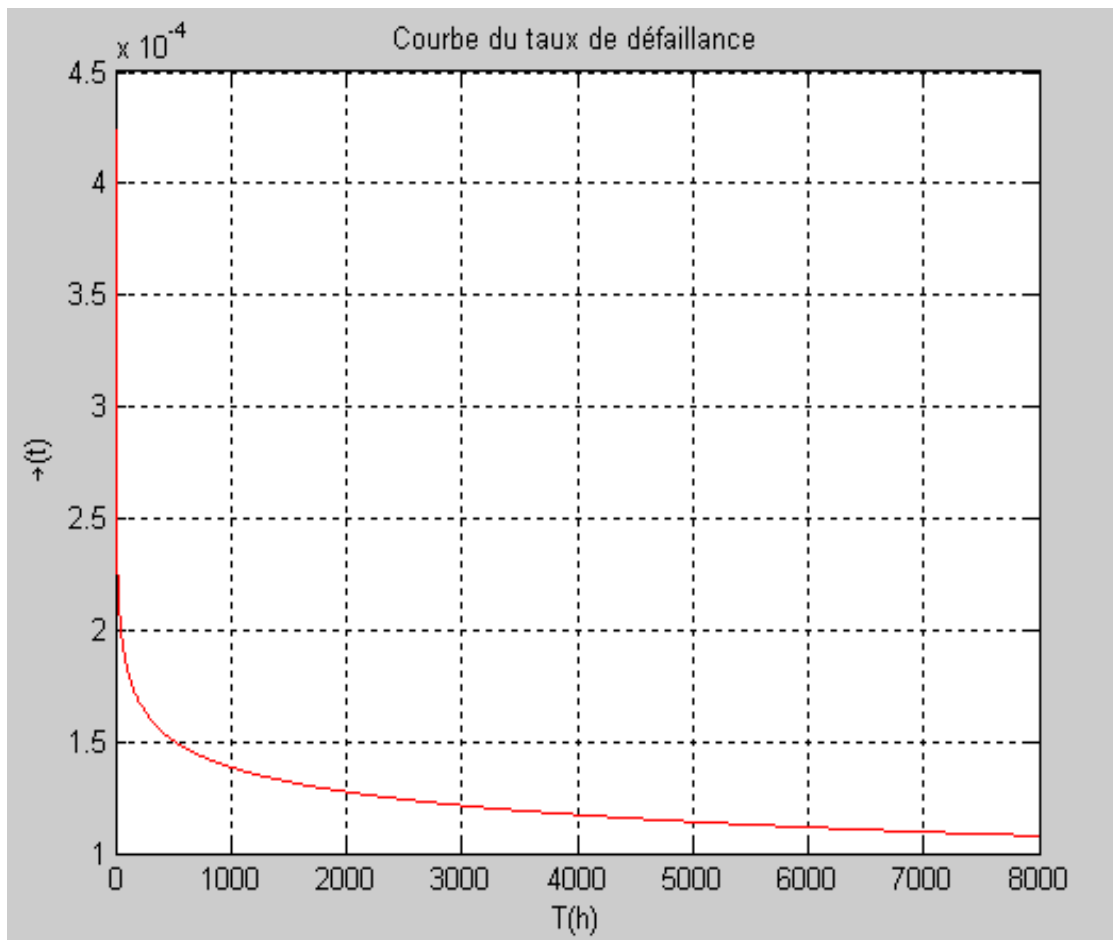


Figure (6) : Le courbe taux de défaillance (logiciel matlab)

Analyse de la courbe :

Nous observons à travers la courbe que la fonction $\lambda(t)$ prend une grande valeur et diminue avec le temps jusqu'à ce qu'elle prenne des valeurs nulles.

III.4.5 Calcul la Maintenabilité du compresseur

D'après l'historique des pannes du compresseur :

$$MTTR = \Sigma TTR / N. \tag{III.13}$$

TTR : temps de réparation.

N : nombre de panne.

$$MTTR = 677 / 12 = 56.41 \text{ h.}$$

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

$$\text{Avec } \mu = 1 / MTTR \tag{III.15}$$

$$\mu = 1 / 56.41 = 0.017 \text{ intervention / heure.}$$

TTR(h)	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
M(t)	0.57	0.81	0.92	0.96	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99

Tableau (9) : La Maintenabilité du compresseur

Courbe de maintenabilité :

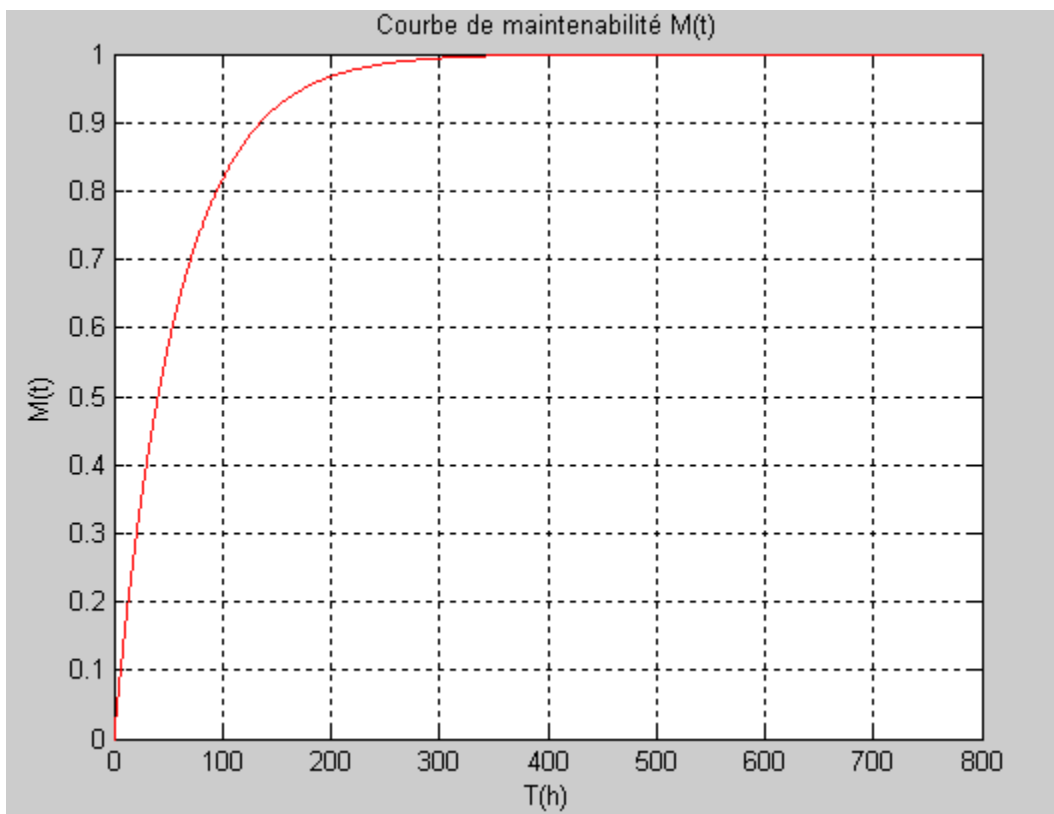


Figure (7) : La Courbe de Maintenabilité (logiciel matlab)

Analyse de la courbe :

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

III.4.6 Calcul la disponibilité du compresseur

Disponibilité intrinsèque au asymptotique

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{8621.59}{8621.59 + 56.41} = 0.9934$$

Disponibilité instantané :

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

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{8621.59} = 0.000115$$

$$MTTR = \frac{1}{\mu} \Rightarrow \mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{56.41} = 0.017$$

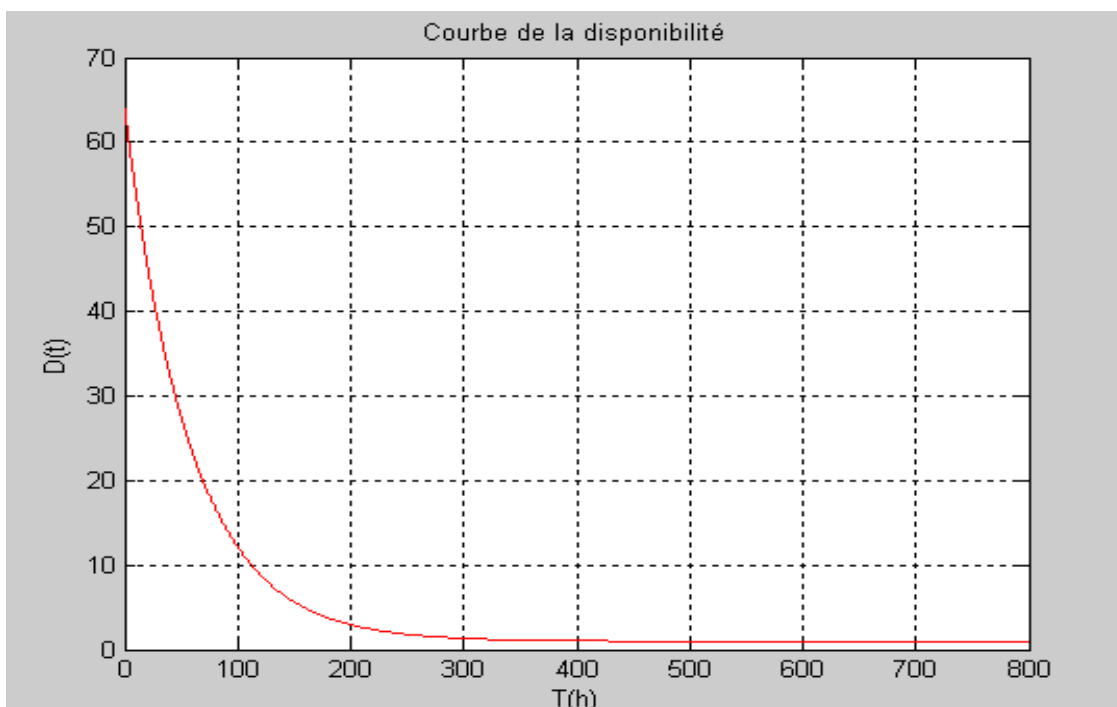
$$\mu + \lambda = 0.017 + 0.000115 = 0.017115$$

$$D(t) = \frac{0.017}{0.000115 + 0.017} + \frac{0.000115}{0.000115 + 0.017} e^{-(0.000115 + 0.017)t}$$

T(h)	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220
D(t)	0.01	0.008	0.0088	0.0082	0.077	0.0073	0.0071	0.0069	0.0068	0.0067	0.0066

Tableau (10) : Tableau de disponibilité

Courbe de la disponibilité :



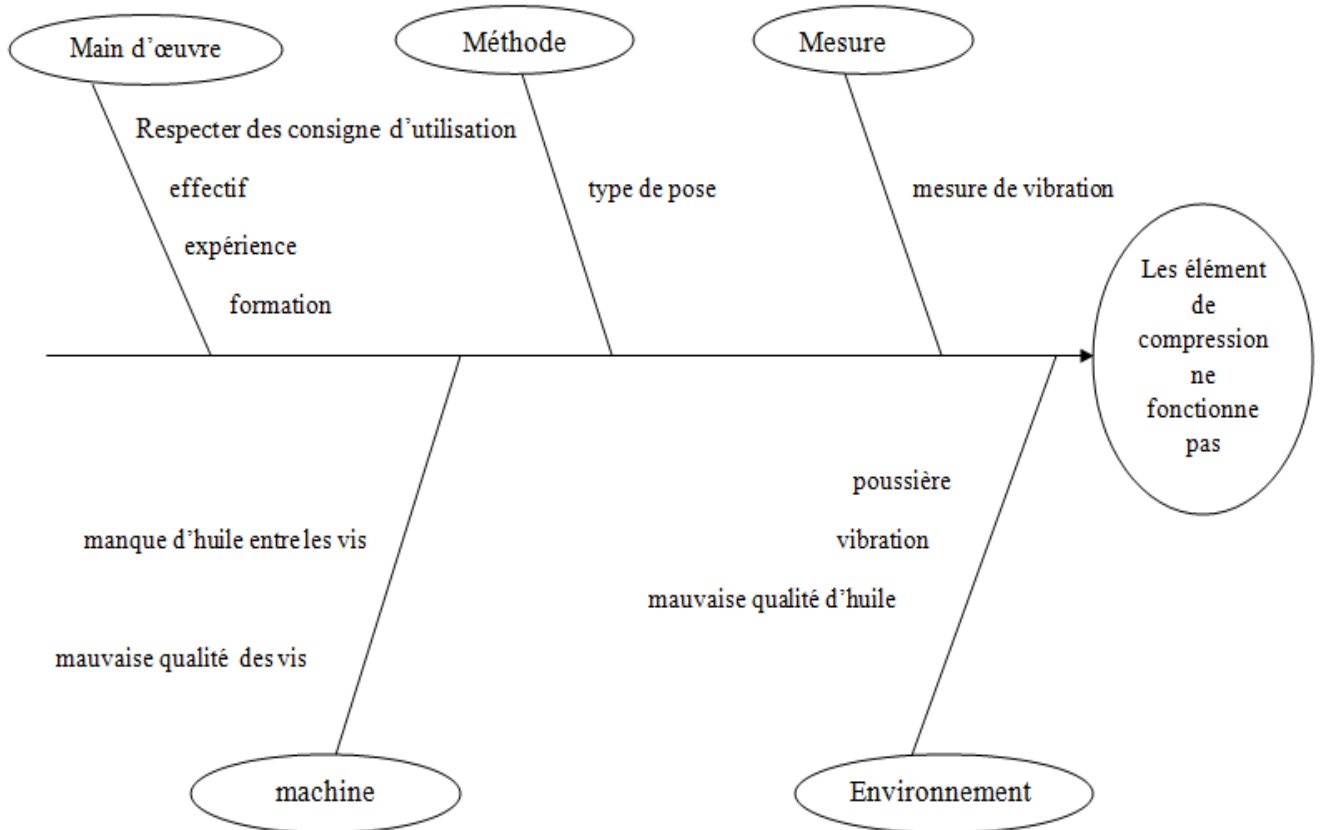
Figure(8) : Courbe de la disponibilité

Analyse de la courbe :

Notez que la fonction prend une grande valeur, puis diminue jusqu'à prendre une valeur constant.

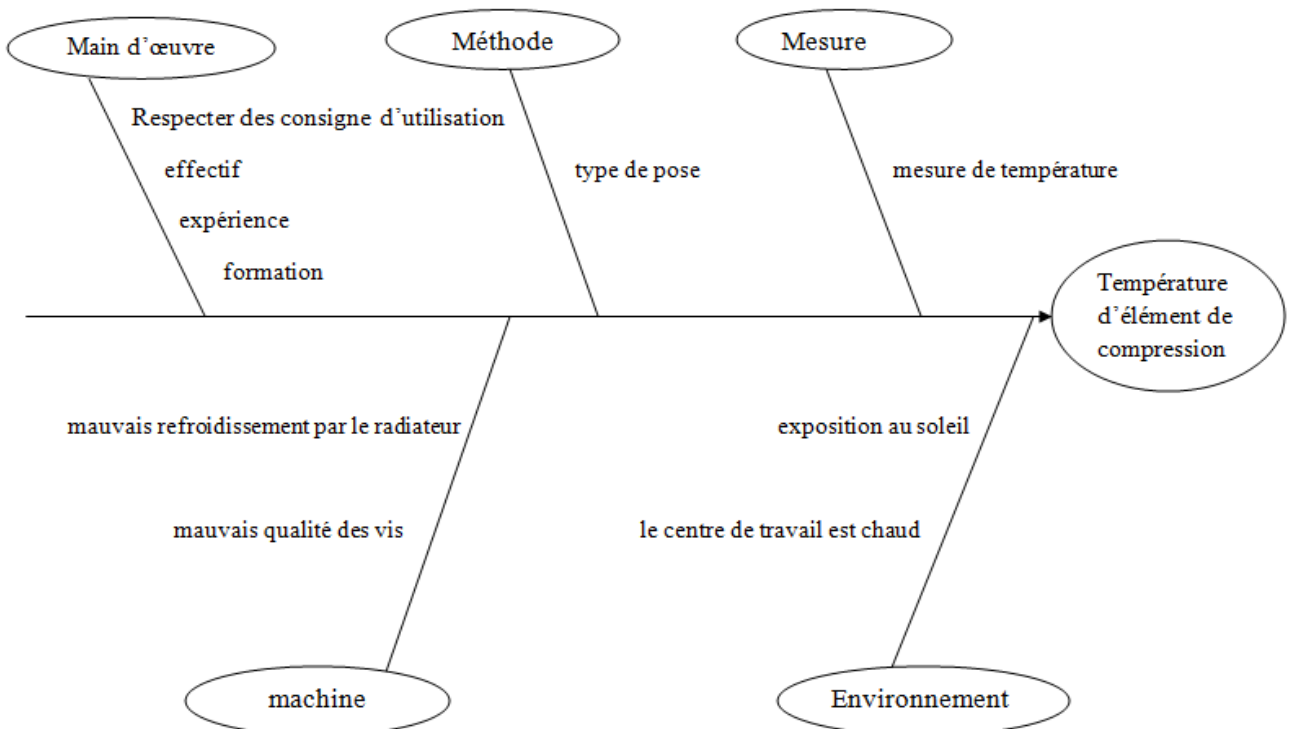
III.5 Diagramme causes-effet (ou ISHIKAWA ou en ARETE DE POISSON)

III.5.1 Analyse du défaut de fonctionnement d'élément de compression :



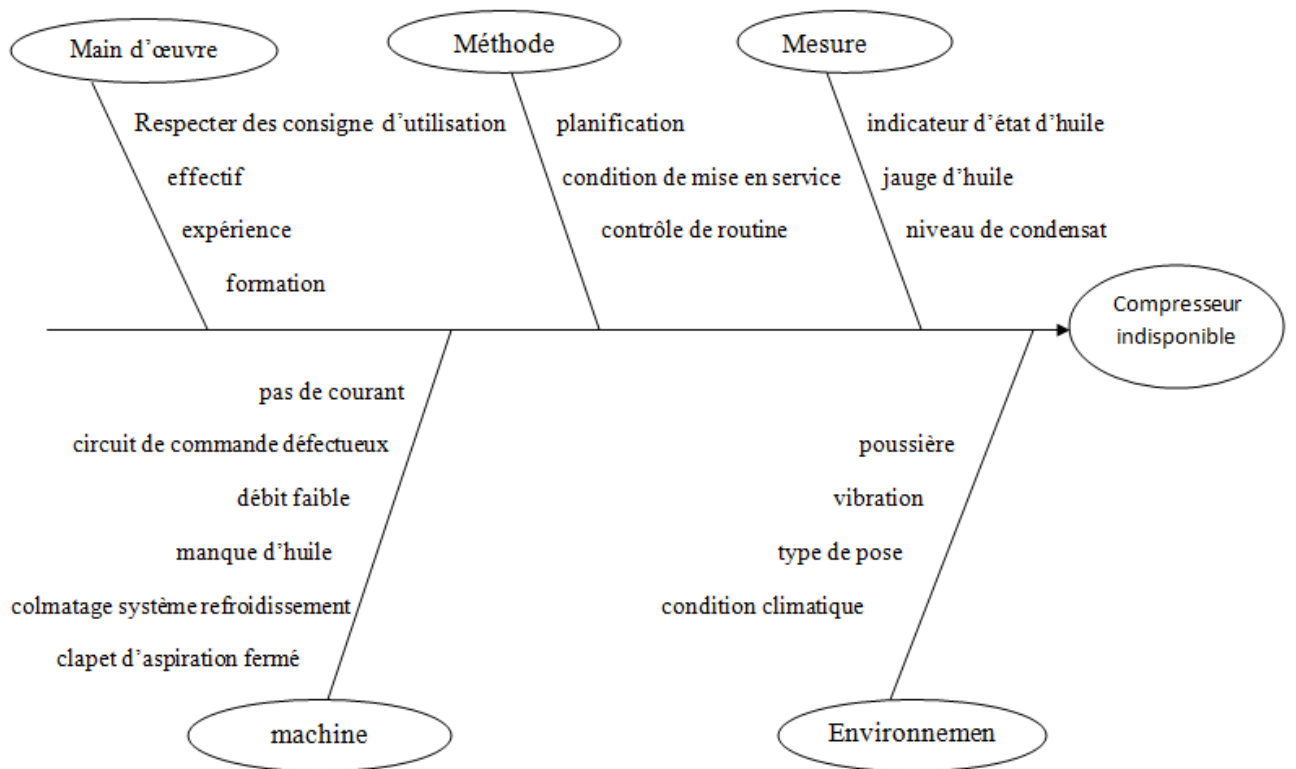
Figure(9) : Analyse du défaut de fonctionnement d'élément de compression

III.5.2 Analyse du défaut de Température d'élément de compression



Figure(10) : Analyse du défaut de Température d'élément de compression

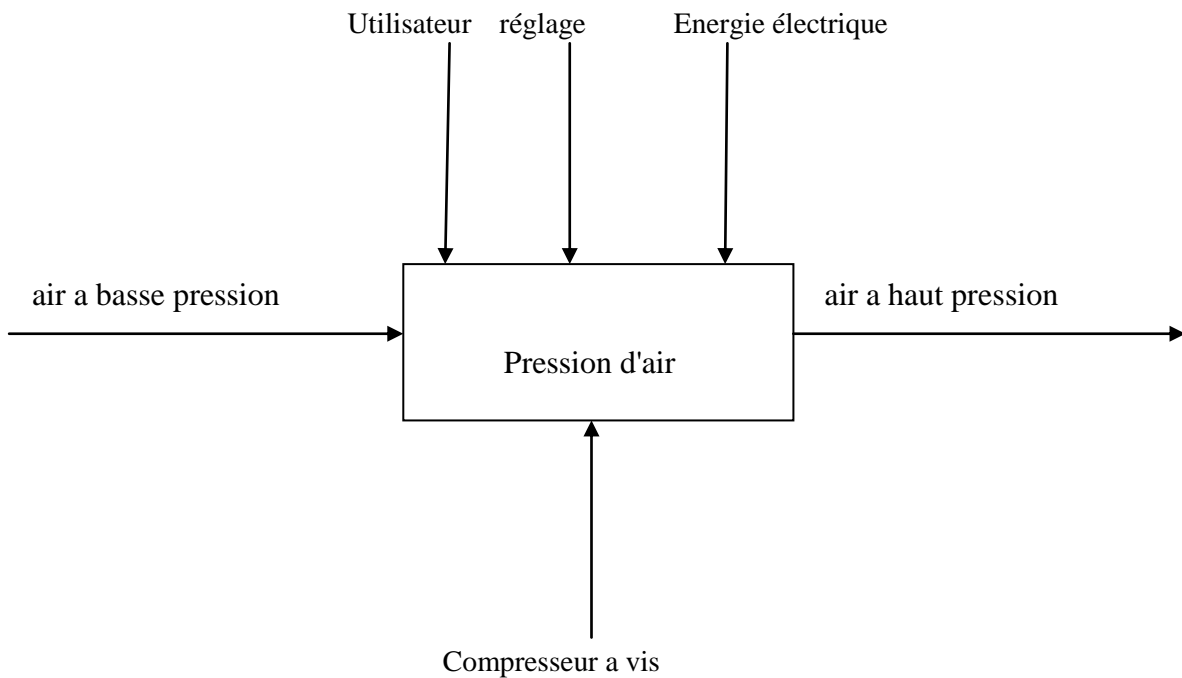
III.5.3 Analyse du défaut de fonctionnement de compresseur :



Figure(11) : Analyse du défaut de fonctionnement de compresseur

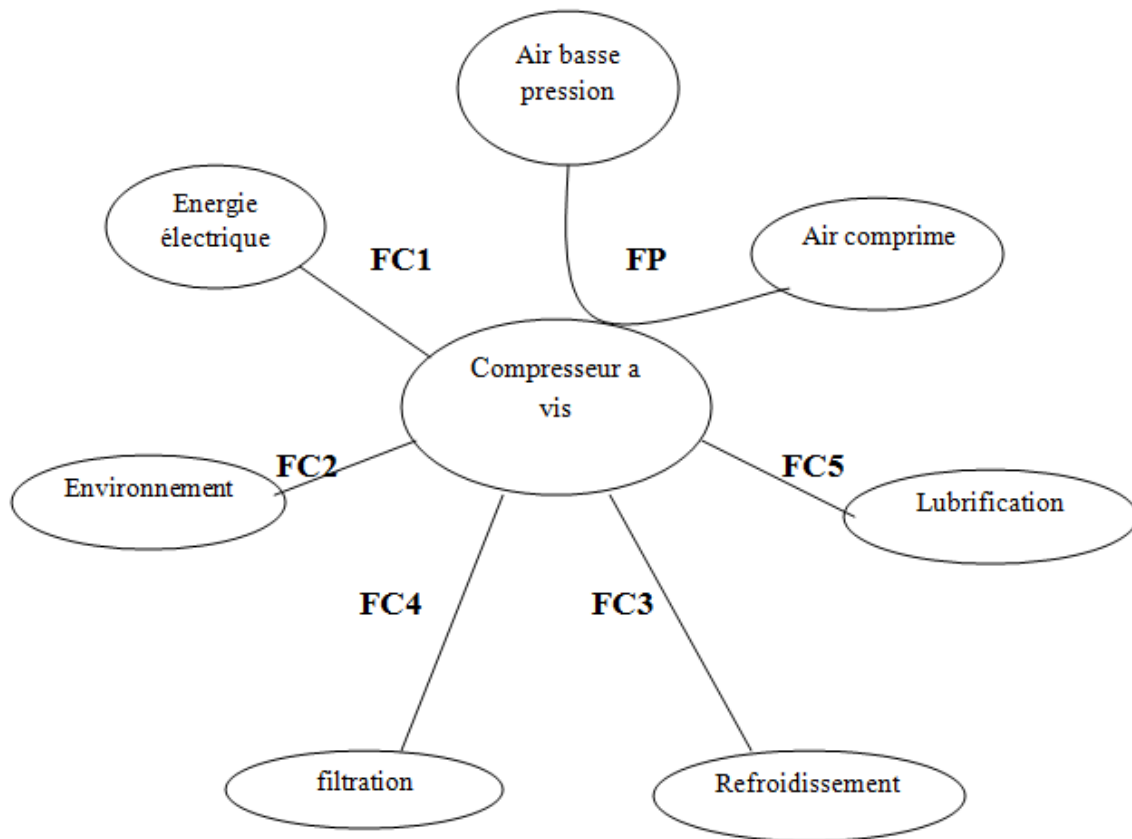
III.6 Analyse fonctionnelle

III.6.1 LE S.A.D.T. : ANALYSE DESCENDANTE ET LIENS INTER-FONCTIONNELLE



Figure(12) : ANALYSE DESCENDANTE ET LIENS INTER-FONCTIONNELLE

III.6.2 LA PIEUVRE



Figure(13) : LA PIEUVRE

Chacune de ses fonctions sont bien expliquer dans le tableau suivant :

Fonctions	Significations
FP	Transformation de l'air a pression atmosphérique en air comprimé
FC1	Protéger l'environnement en utilisant de l'air non toxique.
FC2	Une consommation minimum d'énergie électrique.
FC3	Assurer le fonctionnement à une température optimal
FC4	Utiliser l'eau ou l'huile filtré
FC5	Réduire le coefficient de frottement

Tableau(11): Fonctions et leurs significations

Le tableau suivant montre chaque composant de compresseur avec leurs fonctions, parmi ses composants on a le séparateur qui sépare les gouttelettes de l'air.

III.7 Tableau d'AMDEC :

PME :		AMDEC: Analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leurs criticités								
Sous-système : compresseur ATLAS COPCO GA15		DATE :								
L'élément	Fonction	Modes de défaillance	Cause	Effet	détection	Criticité				Action
						F	G	D	C	
Les vis	Assurer le mouvement de rotation pour pression le fluide	-Défaillance de la surface -Défaillance structurelle	-fatigue surcharge	-arrêt de compresseur	-Bruit échauffement	3	4	2	24	changement des vis
Roulement de moteur	Guider et supporter la vis	-usure -cassure -défaillance structurelle	-conception -Fatigue -vibration -choc	- Echauffement -Blocage de vis - Indisponibilité de l'utilité	visuel	2	3	1	6	Changement de la roulements
radiateur de refroidissement	Maintenir une température de bon fonctionnement	Température de compresseur élevée	Refroidissement difficile du compresseur	Arrêt de compresseur	contact	2	2	1	4	- Nettoyage radiateur de refroidissement
Tête d'aspiration	Fermer l'admission d'air dans l'élément compresseur	Basse pression au point d'utilisation	-Tête d'aspiration non fonctionne pas -tête d'aspiration fermer	-Chute de pression -Arrêt de compresseur	visuel	1	2	1	2	Changement tête d'aspiration
Boîte alimentation (Fusible 16A-2A, Contacteur de puissance)	-Fusible : Protéger l'installation contre les éventuelles surcharges électriques -contacteur de puissance établir le passage du courant	Compresseur ne démarre pas	Arrêt le circuit électrique	Compresseur no pas marche	visuel	1	1	1	1	Changement Fusible

Tableau(12) d'AMDEC

III.8 Conclusion :

Dans un premier temps, l'historique des pannes nous a permis de représenter, sous forme d'un diagramme Pareto en utilisant le logiciel graphique Minitab et Matlab, les différentes zones de criticités de l'ensemble d'équipement afin d'en déterminer les plus critique qui seront l'objet prioritaire pour établir le diagramme d'ISHIKAWA.

Nous avons, dans un 2eme temps faire une étude de défaillance en utilisant la méthode d'AMDEC qui permet de faire ressortir les points faibles de compresseur.

Et en faisant ces analyse et études, nous sommes arrivés aux résultats de basse suivants :

- les éléments qui causent 65% des pannes sont les éléments des compressions (Les vis) et la haute température des éléments de compression.
- Pour garder la fiabilité des compresseurs 85% il faut intervenir chaque temps systématique 1033.40 h nous faisons quelques actions préventifs de compresseur.
- Grâce a la table AMDEC nous pouvons voir que les vis ont le plus de risques lorsqu'ils atteignent 24 , suivie par Roulement de moteur et sa valeur 6
- $\gamma = 0$ indique que les défaillances commencées au début dans la mise en Service à compresseur.

Conclusion générale

Arrivant à la fin de notre projet de fin d'étude portant sur l'étude analytique de la maintenance préventive d'un Moto-compresseur nous présentons le bilan du travail que nous avons effectué. D'abord il a fallu bien s'intégrer et comprendre le fonctionnement du compresseur dans notre entreprise.

La défaillance de la machine ne peut pas échouer, mais peut être contrôlée par un maintenance bien organisée, qui améliore les conditions de travail et minimise le coût de réparation puisque elle resté la machine toujours en marche et éviter l'arrêt complète des machines.

Ensuite, nous avons commencé notre étude par une analyse de 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 nous avons utilisé le diagramme ISHIKAWA, ces causes sont classés selon les 5M par exemple des personnes non formé, le compresseur se trouve dans un milieu poussiéreux et les filtres sont de mauvaise qualité.

Nous avons fait une analyse des défaillances de compresseur via la méthode AMDEC, ensuite nous avons évalué leurs criticité afin de déceler les plus critiques pour mettre en œuvre des actions correctives ainsi que préventives

Annexe(1)

MTBF et écart type :

$$E(t) = MTBF = A\eta + \gamma$$

$$\sigma = B\eta$$

Où A et B sont des paramètres

Ex : pour $\beta=0.878745$, $\gamma=0$ et $\eta=8170.58$
 $MTBF=1.0522 \times 8170.58 + 0 = 8597.08$
 Heures.

Issus de tables.

β	A	B	β	A	B	β	A	B
0,20	120	1901	1,50	0,9027	0,613	4	0,9064	0,254
0,25	24	199	1,55	0,8994	0,593	4,1	0,9077	0,249
0,30	9,2605	50,08	1,60	0,8966	0,574	4,2	0,9089	0,244
0,35	5,0291	19,98	1,65	0,8942	0,556	4,3	0,9102	0,239
0,40	3,3234	10,44	1,70	0,8922	0,540	4,4	0,9114	0,235
0,45	2,4786	6,46	1,75	0,8906	0,525	4,5	0,9126	0,230
0,50	2	4,47	1,80	0,8893	0,511	4,6	0,9137	0,226
0,55	1,7024	3,35	1,85	0,8882	0,498	4,7	0,9149	0,222
0,60	1,5046	2,65	1,90	0,8874	0,486	4,8	0,9160	0,218
0,65	1,3663	2,18	1,95	0,8867	0,474	4,9	0,9171	0,214
0,70	1,2638	1,85	2	0,8862	0,463	5	0,9182	0,210
0,75	1,1906	1,61	2,1	0,8857	0,443	5,1	0,9192	0,207
0,80	1,1330	1,43	2,2	0,8856	0,425	5,2	0,9202	0,203
0,85	1,0880	1,29	2,3	0,8859	0,409	5,3	0,9213	0,200
<u>0,90</u>	<u>1,0522</u>	<u>1,17</u>	2,4	0,8865	0,393	5,4	0,9222	0,197
0,95	1,0234	1,08	2,5	0,8873	0,380	5,5	0,9232	0,194
1	1	1	2,6	0,8882	0,367	5,6	0,9241	0,191
1,05	0,9603	0,934	2,7	0,8893	0,355	5,7	0,9251	0,188
1,10	0,9649	0,878	2,8	0,8905	0,344	5,8	0,9260	0,185
1,15	0,9517	0,830	2,9	0,8917	0,334	5,9	0,9269	0,183
1,20	0,9407	0,787	3	0,8930	0,325	6	0,9277	0,180
1,25	0,9314	0,750	3,1	0,8943	0,316	6,1	0,9286	0,177
1,30	0,9236	0,716	3,2	0,8957	0,307	6,2	0,9294	0,175
1,35	0,9170	0,687	3,3	0,8970	0,299	6,3	0,9302	0,172
1,40	0,9114	0,660	3,4	0,8984	0,292	6,4	0,9310	0,170
1,45	0,9067	0,635	3,5	0,8997	0,285	6,5	0,9318	0,168
			3,6	0,9011	0,278	6,6	0,9325	0,166
			3,7	0,9025	0,272	6,7	0,9333	0,163
			3,8	0,9038	0,266	6,8	0,9340	0,161
			3,9	0,9051	0,260	6,9	0,9347	0,160

Annexe (2)

n	α 0.01	α 0.05	α 0.1	α 0.15	α 0.2
1	0.995	0.975	0.950	0.925	0.900
2	0.929	0.842	0.776	0.726	0.684
3	0.828	0.708	0.642	0.597	0.565
4	0.733	0.624	0.564	0.525	0.494
5	0.669	0.565	0.510	0.474	0.446
6	0.618	0.521	0.470	0.436	0.410
7	0.577	0.486	0.438	0.405	0.381
8	0.543	0.457	0.411	0.381	0.358
9	0.514	0.432	0.388	0.360	0.339
10	0.490	0.410	0.368	0.342	0.322
11	0.468	0.391	0.352	0.326	0.307
12	0.450	0.375	0.338	0.313	0.295
13	0.433	0.361	0.325	0.302	0.284
14	0.418	0.349	0.314	0.292	0.274
15	0.404	0.338	0.304	0.283	0.266
16	0.392	0.328	0.295	0.274	0.258
17	0.381	0.318	0.286	0.266	0.250
18	0.371	0.309	0.278	0.259	0.244
19	0.363	0.301	0.272	0.252	0.237
20	0.356	0.294	0.264	0.246	0.231
25	0.320	0.270	0.240	0.220	0.210
30	0.290	0.240	0.220	0.200	0.190
35	0.270	0.230	0.210	0.190	0.180
40	0.250	0.210	0.190	0.180	0.170
45	0.240	0.200	0.180	0.170	0.160
50	0.230	0.190	0.170	0.160	0.150
OVER 50	1.63	1.36	1.22	1.14	1.07
	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}

TABL : DETERMINATION LA VALEUR (D_n, α) DE TEST (KOLMOGOROV SMIRNO)

Annexe (3)

Programmation dans la matlab

1. fiabilité

- Densité de probabilité
 1. clc
 2. clear
 3. B=0.878745
 4. n=8170.58
 5. t=0:0.1:8000;
 6. f=(exp(-(t/n).^B)).*((B/n)*(t/n).^(B-1));
 7. plot(t,f,'r')
 8. grid

 - Fonction de répartition
 1. clc
 2. clear
 3. B=0.878745
 4. n=8170.58
 5. t=0:0.1:8000;
 6. F=1-exp(-(t/n).^B);
 7. plot(t,F,'r')
 8. grid
-

- Loi de fiabilité

1. clc
2. clear
3. B=0.878745
4. n=8170.58
5. t=0:0.1:8000;
6. R=exp(-(t/n).^B);
7. plot(t,R,'r')
8. grid
- 9.

- Taux de défaillanc

1. clc
2. clear
3. B=0.878745
4. n=8170.58
5. t=0:0.1:8000;
6. L=(B/n)*(t/n).^(B-1);
7. plot(t,L,'r')
8. grid

2. Maintenabilité :

1. clc
2. clear
3. u=0.017
4. t=0:0.1:800;
5. M=1-exp(-u*t);
6. plot(t,M,'r')
7. grid

3. Disponibilité:

1. clc
 2. clear
 3. u=0.017
 4. h=0.00027
 5. t=0:0.1:800;
 6. Dis=u/(h+u)+((u/h+u).*exp(-(h+u)*t));
 7. plot(t,Dis,'r')
 8. grid
-

Bibliographie

[1] : Dspace.univ-ouargla.dz

[2] : **Samet Henda et Djrida Nabil** theme (Analyse de fonctionnement de compresseur par l'application de l'AMDEC (compresseur de la mine de Boukhadra)) UNIVERSITE LARBI TEBSSI –TEBESSA 2015-2016

[3] : **Gica** données de ciment-touggourt-

[4] : **M. GRAD Hicham** Sous le thème Apport de la MCSA par rapport à l'analyse vibratoire pour le suivi de l'état de la machine Asynchrone Université Mohammed V–Soussi 2012/2013

[5] : **A. BELHOMME** Cours de STRATEGIE DE MAINTENANCE Forges les Eaux année 2010/2011

[6] : **Cherifi ABDERRAHIM / Amarache SALIM** Thème : Etude et maintenance du compresseur centrifuge BCL-406 Problème d'encrassements Université M'hamed Bouguera Boumerdes 2016/2017

[7] : **BELLAOUAR Ahmed / BELEULMI Salima** cour FMD (FIABILITE, MAINTENABILITE et DISPONIBILITE) UNIVERSITE Constantine 1 Année Académique 2013-2014

[8] : cour de stratégie de maintenance univ-Ouargla 2017

[9] : TP SdF N° 20 La loi de Weibull

[10] : cour de LA METHODE A.B.C. Gestion de production

[11] : **BOUKHERISSI Meryem** Thème : (AMDEC (Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité) appliquée à la STEP d'Ain El) université Abou bekr belkaid Tlemcen 2014/2015

[12] : **LADRAA AICHA/OUKICHA NAJWA** Thème : (Maîtrise et Fiabilisation des compresseurs de secteur adaptation de la laverie DAOUI) Université Sidi Mohammed Ben Abdellah Fès 15/06/2015

ملخص

للضواغط أهمية كبيرة جدا في المجال الصناعي و ذلك من حيث الدور الهام الذي تلعبه في المصانع بشكل عام, و هو الأمر الذي يستدعي مراقبتها بصفة مستمرة و منتظمة من اجل ضمان الأداء الجيد و استمرارية الإنتاج.

و أثبتت دراستنا أن طريقة ABC فعالة جدا في إيجاد الأسباب الرئيسية للاعطاب كما ل ISHIKAWA و AMDEC نتائج جيدة من حيث دراسة هاته الاعطاب و ضمان صيانة الضاغط.

كلمات مفتاحيه : ISHIKAWA, AMDEC, ABC

Résumé

Les compresseurs sont d'une grande importance dans le domaine industriel en raison du rôle important qu'ils jouent dans les usines en général, et est quelque chose qui les appels surveillés en permanence et régulièrement pour de bonnes performances et assurer la continuité de la production.

Notre étude a démontré que la méthode ABC est très efficace pour trouver les causes principales du dysfonctionnement, ICHKAWA et AMDEC ont résultats en terms d'étude de ces défauts et d'entretien du compresseur.

Mots clés : ABC, AMDEC et ICHKAWA

Abstract

Compressors are of great importance in the industrial field because of the important role they play in the factories in general, which requires constant and regular monitoring in order to ensue good performance and continuity of production.

Our study proved that the ABC method is very effective in finding the main causes of the malfunction, as ISHIKAWA and AMDEC have good results in terms of studying these defects and ensurige the maintenance of the compresseur.

Keyword: ABC, AMDEC, ISHIKAWA