

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Hydrocarbures énergies renouvelables et sciences de la terre et de l'univers

Département Forage et Mécanique des chantiers pétroliers



Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention de diplôme de MASTER

Option : mécanique des chantiers pétroliers

Présenté par :

-Belgomri Abderrahmane

-Mahdi Sid Ali

Thème :

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

Jury :

Mr Merabti Houcine

président

Mme Chelgham Fatiha

Encadreur

Mr Bouchireb Abdelouaheb

Examineur

Année universitaire : 2020/2021

Remerciements

Nous remercions tout d'abord notre Dieu qui nous a donné la force et la puissance pour terminer ce modeste travail.

*Tous nos remerciements à notre Encadreur Mme : **CHELGHAM FATIHA** qui a accepté de suivre cette étude et qui nous a guidé à réaliser ce travail,*

Nous tiendrons aussi à remercier tous les enseignants de département hydrocarbures qui ont contribué de près ou de loin à notre formation durant tout le cursus universitaire.

Enfin, nous ne pouvons pas mentionner tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail, que tous ceux qui nous ont aidés d'un simple encouragement trouvent ici l'expression de notre reconnaissance la plus sincère

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

A mes très chers parents

*A ceux qui m'ont toujours encouragé pour que je réussisse
dans mes études*

A ceux qui ont veillé pour mon bien être

*A ceux qui m'ont soutenu dans les moments les plus difficiles
de ma vie*

*A ceux que j'aime et je respecte infiniment Le jour est venu
pour leur dire Merci...*

Ainsi qu'à mes chers frères

TORKY et AHMED MAHDI,A

toute la famille

MAHDI.DEKKANI

*A tous mes amis qui ont toujours été présents en
particulier, SEDDIK, WALID, MUSTAPHA, NOREDDINE,
NADIR, IMAD, ABDOU HABISSE et ABDOU BELGOMRI*

A tous mes Camarades du Groupe 02.

Table des matières

Remerciements	
Dédicace	
Table des matières	
Introduction générale.....	01
I Généralité sur le compresseur.....	02
I.1. Définition de compresseur.....	03
I.2. Utilisation.....	03
I.3 Classification des compresseurs	03
I.3.1.Compresseurs dynamiques.....	04
I.3.1.1Compresseurs axiaux.....	04
I.3.1.2 Compresseurs hélico-centrifuges	04
I.3.1.3 Compresseurs centrifuges.....	05
I.3.2 Compresseur Volumétrique.....	05
I.3.2.1 Principe de fonctionnement.....	05
I.3.2.2 Déifrent type de compresseur volumétrique	06
I .4 Compresseur a vis lubrifiées : ATLAS COPCO GA15	13
I.4.1 Les composantes de compresseur GA15.....	13
I.4.2 Le profile asymétrique	14
I.4.3 Principe du circuit d'huile	15
I .5 Conclusion.....	19
II. Généralité sur la maintenance.....	21
II .1 Introduction.....	21

II .2 La maintenance.....	21
II.2.1 Définition de la maintenance.....	21
II.2.2 Entretien ou maintenance.....	21
II.2.3 La défaillance.....	22
II.2.3.1 Définition de la défaillance.....	22
II.2.4 Les différents types de maintenance.....	22
II.2.4.1 La maintenance préventive.....	23
II.2.4.2 La maintenance Corrective.....	26
II.2.5 Applications des méthodes de maintenance.....	27
II.2.6 La maintenance améliorative.....	27
II.2.7 Les niveaux de maintenance.....	29
II.2.6 Les échelons de maintenance : (norme FD X 60-000).....	30
II.3 Fiabilité.....	30
II.3.1 Définition.....	30
II.3.2 Commentaires.....	30
II.3.3 La fiabilité d'un équipement dépend de nombreux facteurs.....	30
II.3.4 Cas particulier de l'époque de maturité.....	32
II.3.5 La Maintenabilité.....	32
II.3.5.1 Définition.....	32
II.3.5.2 Commentaires.....	32
II.3.5.3 Calcul de la maintenabilité.....	33
II.3.6 Le concept de disponibilité.....	33
II.3.6.1 Définition.....	33

II.3.6.2 Commentaires.....	33
II.3.6.3 Quantification de la disponibilité.....	34
II.3.7 Modèle de WEIBULL.....	34
II.3.7.1 Etude du model de WEIBULL.....	34
II.3.7.2 Représentation Graphique.....	37
II .4 Diagramme causes-effet (ou ISHIKAWA ou en ARETE DE POISSON).....	38
II.5 Analyse fonctionnelle.....	39
II.5 .1 LE S.A.D.T. : ANALYSE DESCENDANTE ET LIENS INTER – FONCTIONNELLE.....	39
II.5.2 LA PIEUVRE.....	40
II .6 étude AMDEC.....	40
II .6.1 Définition.....	40
II .6.2 Objectifs de l'AMDEC.....	41
II .6.3 Méthodologie d'une AMDEC.....	41
II .6.4 Types de l'AMDEC.....	41
II .6.5 Tableau Des indices de défaillance :.....	43
III Partie calcul.....	44
III.1 Introduction.....	44
III.2 Exploitation de l'historique.....	44
III.3 Méthodes d'analyse prévisionnelle « ABC (Pareto)».....	45
III.3.1 La Courbe de Pareto.....	45
III.4 Calcul les paramètres de weibull :	46
III.4.1 La Courbe de Weibull.....	46

III.4.2 Test (KOLMOGOROV SMIRNOV).....	47
III.4.3 Exploitation les paramètres de WEIBULL.....	47
III.4.4 Étude de modèle de weibull.....	48
III.4.5 Calcul la Maintenabilité du compresseur.....	52
III.4.6 Calcul la disponibilité du compresseur.....	53
III.5 Diagramme causes-effet	54
III.5.1 Analyse du défaut de fonctionnement d'élément decompression.....	54
III.5.2 Analyse du défaut de Température d'élément de compression.....	55
III.5.3 Analyse du défaut de fonctionnement de compres.....	55
III.6 Analyse fonctionnelle.....	56
III.6.1 LE S.A.D.T. : ANALYSE DESCENDANTE ET LIENS INTERFUNCTIONNELLE.....	56
III.6.2 LA PIEUVRE.....	57
III.7 Tableau d'AMDEC.....	58
III.8 Conclusion.....	59
Conclusion générale.....	60

Figure chapitre I

Figure(I.01) : Classification des compresseurs.....	04
Figure(I.02) : compresseur à piston	06
Figure(I.03) : compresseur à palettes	07
Figure(I.04) : principe de fonctionnement dun compresseur à lobes	08
Figure(I.05) : compresseur à lobes	08
Figure I.06 : compresseur à vis.....	09
Figure I.07 : fonctionnement d'un compresseur à vis	10
Figure I.08 : cycle de compression	10
Figure I.09 : compresseur à vis Atlas COPCO GA15	13
Figure I.10 : Elément de compresseur GA	14
Figure I.11 : Ensemble de rotors	15
Figure I.12 : Asymétrique profile	15
Figure I.13 : schéma du compresseur ATLAS-COPCO GA15.....	16

Figure chapitre II

Figure (II.01) : Evolution de la dégradation d'un bien.....	22
Figure (II.02) : Organigramme synthétique	23
Figure (II.03) : Applications des méthodes de maintenance	27
Figure (II.04) : La fiabilité d'un équipement	31
Figure (II.05) : la méthode ABC.....	31
Figure (II.06) : La disponibilité d'un équipement	34
Figure (II.07) Allure de la fonction de Défaillance F(t).....	35
Figure (II.08) : Allure de la Fiabilité R(t).....	36

Figure (II.09) : Allure de la fonction de densité de défaillance pour diverses valeurs de β	37
Figure (II.10) : Allure de la fonction de défaillance $F(t)$ pour diverse valeur de β	37
Figure (II.11) : Allure du taux de défaillance $\lambda(t)$	38
Figure (II.12) : Représentation graphique du diagramme de causes à effets.....	39
Figure (II.13) : S.A.D.T.....	40

Figure chapitre III

Figure (III.01) : La Courbe de Pareto.....	45
Figure (III.02) : papier de Weibull en logiciel minitab16.....	46
Figure (III.03) : La Courbe Densité De Probabilité (logiciel matlab).....	49
Figure (III.04) : La Courbe De Fonction Répartition (logiciel matlab).....	50
Figure (III.05) : La Courbe De la Fonction Fiabilité (logiciel matlab).....	51
Figure (III.06) : Le courbe taux de défaillance (logiciel matlab).....	52
Figure (III.07) : La courbe de maintenabilité (logiciel matlab).....	53
Figure (III.08) : Courbe de la disponibilité.....	54
Figure (III.09) : Analyse du défaut de fonctionnement d'élément de compression	55
Figure (III.10) : Analyse du défaut de haut température.....	55
Figure (III.11) : Analyse du défaut de fonctionnement de compresseur.....	56
Figure (III.12) : Analyse descendante et liens inter-fonctionnelle.....	56
Figure (III.13) : pieuvre.....	57

Tableaux chapitre II

Tableau(II.01) : les facteurs de La maintenabilité.....	33
Tableau(II.02) : les indices de défaillance.....	43

Tableaux chapitre III

Tableau(III.01) :L'historique de panne de compresseur ATLAS-COPCO GA15.....	44
Tableau(III.02) :L'analyse ABC (Pareto).....	45
Tableau(III.03) : Fonction de réparation réelle.....	46
Tableau (III.04) : test K-S (kolmogrov-smirnov).....	47
Tableau(III.05) : Calcul la fonction de la densité de probabilité.....	49
Tableau(III.06) : Fonction de répartition.....	49
Tableau(III.07) : Calcul de la fiabilité.....	50
Tableau(III.08) : Le taux de défaillance.....	51
Tableau(III.09) : La maintenabilité du compresseur.....	53
Tableau(III.10) : Tableau de disponibilité.....	54
Tableau(III.11) : Fonctions et leurs significations.....	57
Tableau(III.12) : Tableau d'AMDEC.....	58

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

La complexité des marchés, des produits, des processus, associées à la récession économique que vit le monde ces dernières années a poussé les industriels à optimiser leurs moyens de production, à augmenter les performances des produits et leur qualité, avec le souci d'optimiser les coûts de maintenance.

Il faut optimiser en permanence, car l'optimum varie et n'est autre qu'un compromis entre différents paramètres et contraintes, elles mêmes évolutives, et de ce fait, il reste empreint d'une certaine subjectivité, ce qui oblige à une recherche continue d'améliorations.

Toujours plus d'efficacité et de performances et toujours moins de dysfonctionnements.

Pour cela, les différentes fonctions de l'entreprises, sont sollicitées et la fonction maintenance tout spécialement.

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 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 présent l'étude de compresseur a vis.

Chapitre I

Généralité sur les compresseurs

I.1. Définition de compresseur :

Le compresseur est une machine qui a pour fonction, d'élever la pression d'un 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. Les gaz étant des fluides compressibles nécessitent des compresseurs, alors que les liquides pratiquement incompressibles, nécessitent des pompes [1]

I.2. Utilisation :

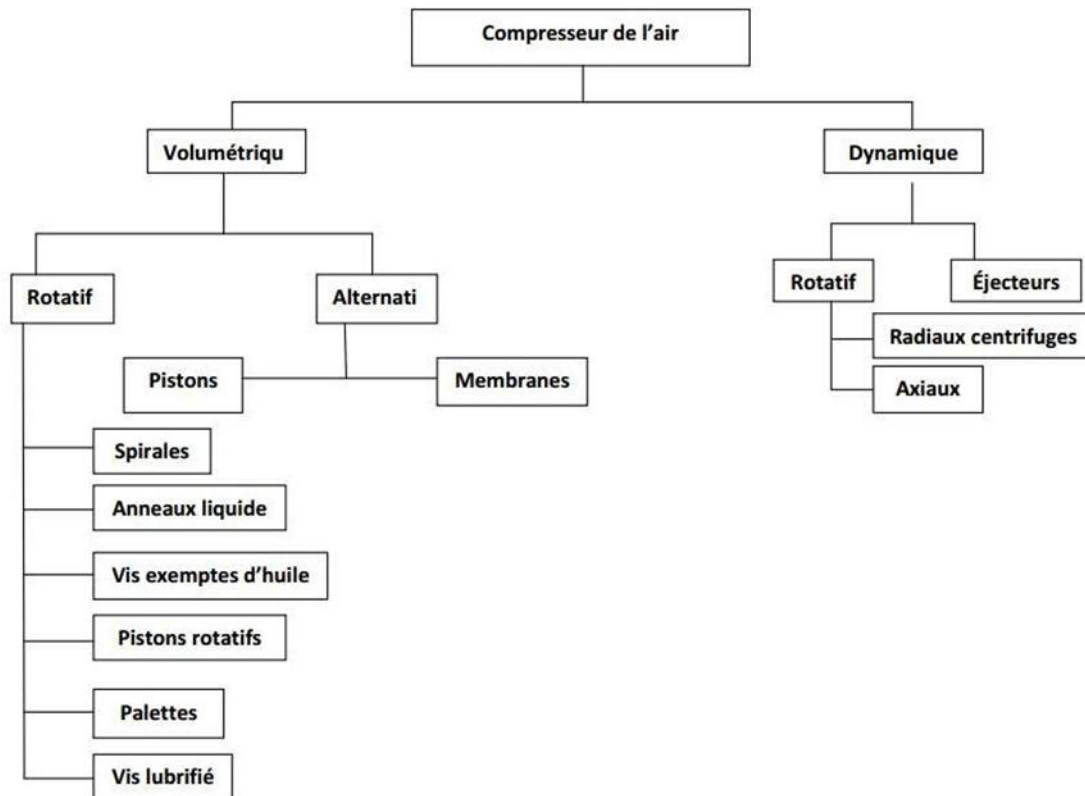
Les compresseurs mécaniques sont utilisés dans les automobiles, les avions mais aussi sur les bateaux à moteur, dans l'industrie pour produire de l'air comprimé, dans les systèmes frigorifiques, ainsi que dans d'innombrables autres domaines Un simple ventilateur peut être considéré comme un compresseur mécanique.

Pour exercer la même fonction sur un liquide, quasi incompressible, on utilise une pompe

I.3. Classification des compresseurs :

On peut diviser les compresseurs en deux catégories principales, qui seront détaillées dans les chapitres suivants :

- Alternatif ou reciprocating (volumétrique)
- Rotatif (Dynamique)



Figure(I.1) : Classification des compresseurs

I.3.1. Compresseurs dynamiques :

Les compresseurs d'air dynamiques, qui comprennent des machines centrifuges et des machines axiales, sont courants dans les très grosses installations de fabrication. Ces compresseurs sortent du cadre du présent document. [3]

I.3.1.1 Compresseurs axiaux :

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

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

I.3.1.2. 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 accéléré par les ailettes dans le sens de l'axe de l'impulseur [2]

I.3.1.3 Les compresseurs centrifuges :

Ce sont des machines dans lesquelles l'échange d'énergie a lieu entre un rotor muni d'aubages tournant autour d'un axe et un fluide en écoulement permanent

Un compresseur centrifuge est un dispositif de compression dynamique qui utilise la force centrifuge pour augmenter la pression du gaz d'un point à un autre. [5]

I.3.2 Compresseurs volumétriques :

Dans le type volumétrique, une quantité donnée d'air est aspirée dans une chambre de compression puis le volume que l'air occupe est diminué, ce qui entraîne une augmentation correspondante de sa pression avant qu'il soit refoulé. Les compresseurs d'air rotatifs à vis, les compresseurs à palettes et les compresseurs à pistons sont les trois types les plus répandus de compresseurs volumétriques utilisés dans les petites et moyennes industries. [3]

I.3.2.1 Principe de fonctionnement :

Un **compresseur volumétrique** se caractérise par l'encapsulation, ou emprisonnement, du fluide qui le traverse dans un volume fermé que l'on réduit progressivement. Un retour de ce fluide dans le sens des pressions décroissantes y est empêché par la présence d'une ou plusieurs parois mobiles. Dans ce type de machine, l'énergie cinétique communiquée au fluide ne joue généralement aucun rôle utile, contrairement à ce qui se passe dans les turbomachines.

De par leur conception, les compresseurs volumétriques conviennent particulièrement bien pour traiter les **débits de fluide relativement faibles**, éventuellement très variables, et sous des **rappports de pression relativement importants**.

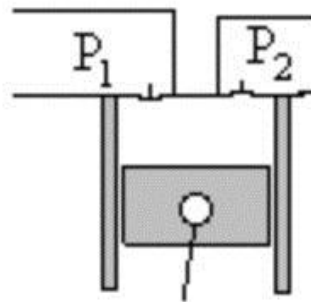
Leur principe de fonctionnement est le suivant : une masse fixe de gaz à la pression d'aspiration P_1 est emprisonnée dans une enceinte de volume variable. Pour augmenter la pression, ce volume est progressivement réduit, d'une manière qui diffère selon la technique utilisée. Généralement, la transformation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

I.3.2.2 Différent type de compresseur volumétrique :

Nous mentionnons certains types

a) Compresseur 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. [4]



Figure(I.2) : compresseur à piston

b) Compresseur rotatif :

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

- Compresseur à vis.
- Compresseur à palette.
- Compresseur anneau liquide.
- Compresseur type roots.
- Compresseur spirale.
- Compresseur à lobes [2]

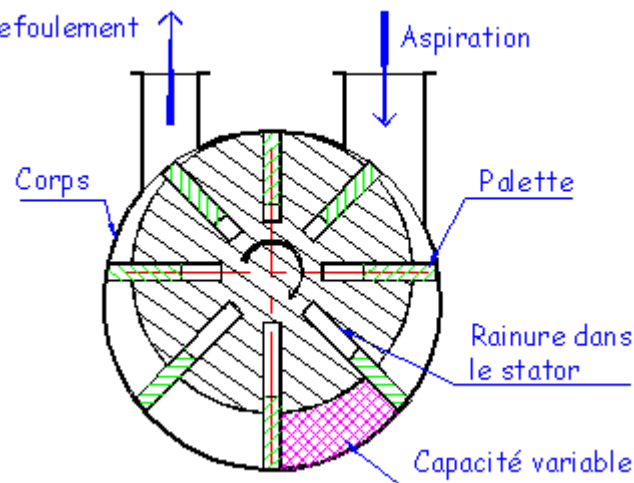
c) Le compresseur à palettes

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

Sous l'action de la force centrifuge, les palettes sont continuellement appliquées contre le cylindre. Le volume compris entre deux palettes est variable.

Le gaz aspiré par augmentation progressive du volume est ensuite emprisonné entre deux palettes et transporté vers le refoulement.

Dans cette zone refoulement, le volume diminue et le gaz comprimé s'échappe dans la tuyauterie de refoulement. [5]



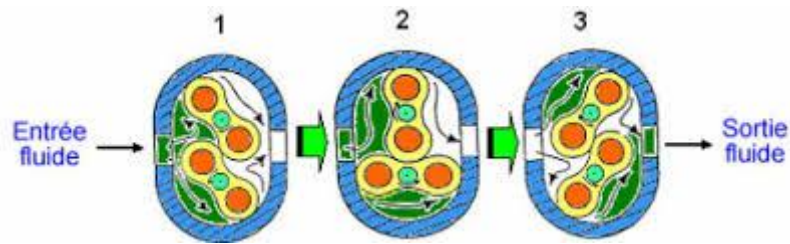
Figure(I.3) : compresseur à palettes

d) Compresseur à lobes (ROOTS) :

Ils comprennent deux rotors engrenés qui ont le profil d'un lobe. Ils sont logés dans un corps muni de deux orifices, un pour l'aspiration, l'autre pour le refoulement

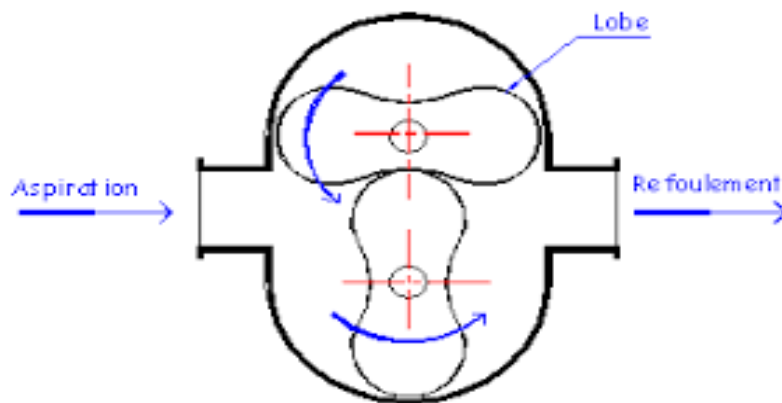
L'engrenage des deux rotors est réalisé à l'aide d'un couple de pignons de synchronisation placé à l'extérieur de la machine. Le jeu entre les rotors peut varier de 0,1 à 1mm suivant le type de machine. Les arbres des rotors sont portés par des roulements placés à l'extérieur. L'étanchéité vers l'extérieur est assurée soit par des presses étoupes, soit par des garnitures mécaniques.

L'entraînement des deux rotors se fait en sens inverse l'un de l'autre. [5]



Figure(I.4) : principe de fonctionnement d'un compresseur à lobes

Le gaz est entraîné par la rotation des lobes de l'aspiration vers le refoulement, sans variations de volume au cours du passage de l'aspiration vers le refoulement. [5]



Figure(5) : 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.

Caractéristiques générales

Débit : de 200 à 30 000 m³/h

Taux de compression usuel : de 1,2 à 1,8

vitesse de rotation courante : 1500 à 2000 tr/mn

e) Compresseur rotatifs à vis :

Depuis les années 1980, les compresseurs rotatifs à vis connaissent une certaine popularité et ont conquis une part intéressante du marché (par rapport aux compresseurs à pistons). Ils sont les plus répandus pour des puissances comprises entre 5 et 900 HP. Le type le plus courant de compresseur rotatif est le compresseur à vis à deux rotors hélicoïdaux. Deux rotors accouplés sont engrainés ensemble, emprisonnant l'air et réduisant son volume le long des rotors. Selon les exigences de pureté de l'air, les compresseurs rotatifs à vis sont du type lubrifié ou sec (sans huile)

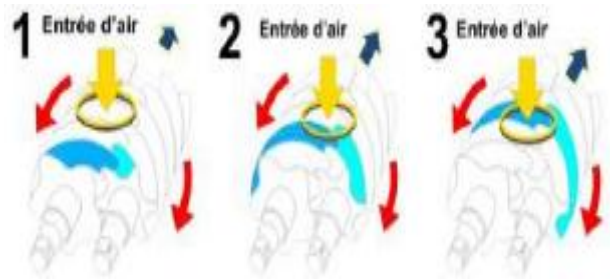


Figure(I.6) : compresseur à vis

e.1) Définition et fonctionnement d'un compresseur à vis :

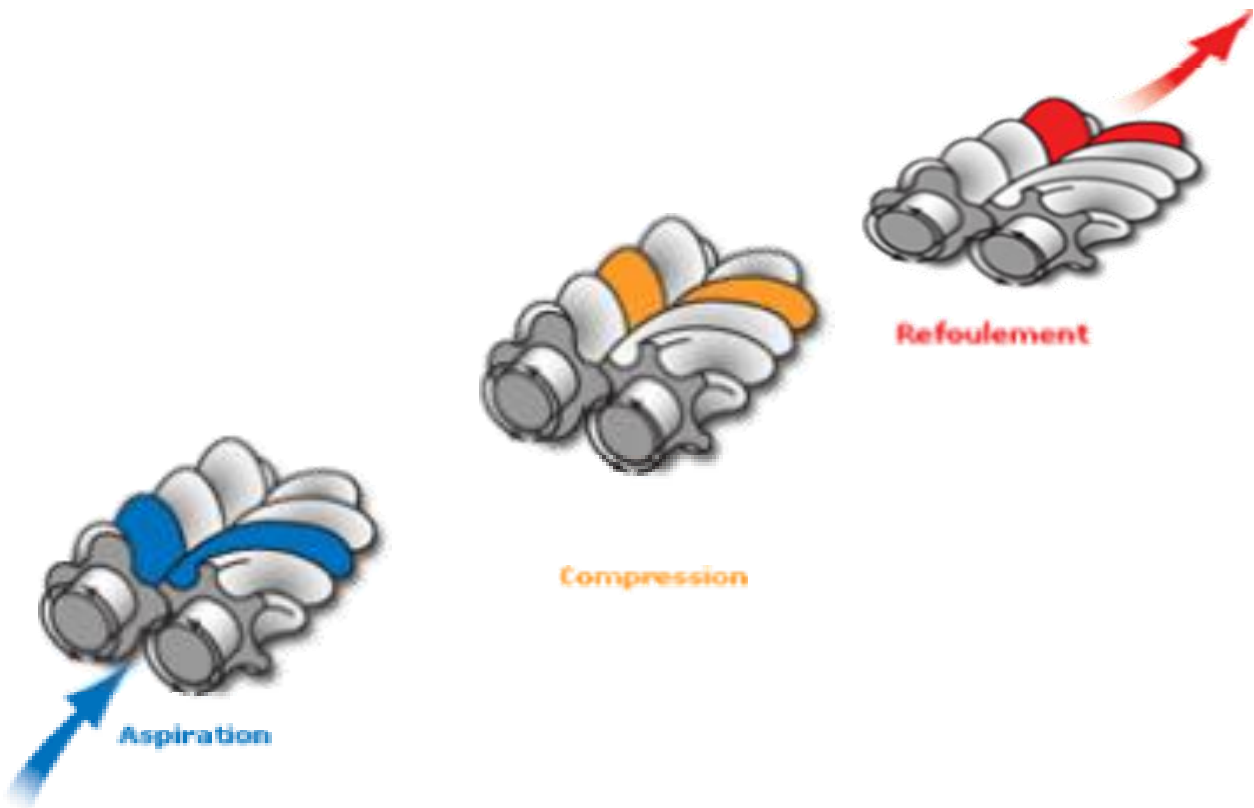
Le compresseur à vis est du type volumétrique rotatif constitué d'un rotor mâle et d'un rotor femelle à denture hélicoïdale. Utilisé pour des débits volumiques de 100 à 10 000 m³ /h. La rotation à grande vitesse dans des sens opposés des deux rotors mâle et femelle permet l'aspiration, la compression, le refoulement du gaz. Le gaz est transporté le long de la vis, de l'orifice d'aspiration à l'orifice de refoulement de façon continue.

Comme les rotors tournent dans des sens opposés, l'espace augmente en se déplaçant vers l'avant, le gaz est aspiré puis cet espace diminue au fur et à mesure de l'avancement de la vis, le gaz est comprimé puis refoulé par un orifice aménagé en fin de parcours de la vis.



Figure(I.7) : fonctionnement d'un compresseur à vis

e.2) Cycle de compression



Figure(I.8) : cycle de compression

1ère phase : Aspiration Côté tubulure d'aspiration, une cannelure se remplit de gaz tant qu'elle est en contact avec la lumière d'aspiration.

2ème phase : Compression Du fait de la rotation des rotors, la cannelure se trouve séparée de la lumière d'aspiration. Le gaz qui y est emprisonné est comprimé car le volume qui lui est offert est réduit par l'engrènement des lobes du rotor male avec le rotor femelle.

3ème phase : Refoulement La compression se termine lorsque la cannelure atteint le bord de la lumière de refoulement. Le gaz comprimé est alors refoulé régulièrement jusqu'à ce que la lumière de refoulement soit à nouveau obstruée. [5]

e.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.

Dans le cas des vis lubrifiées, l'ensemble des engrenages de synchronisation n'est pas nécessaire, et un contact entre les vis existe. Sa présence à une triple fonction :

- absorber la plus grande partie de la chaleur produite par la compression, ce qui permet d'abaisser la température du gaz et d'augmenter le rendement,
- lubrifier les paliers,
- parfaire le rendement de la machine en réduisant les fuites internes par son interposition entre le lobe et le carter.

Le fluide refoulé dans le bloc de compresseur est un mélange comprimé air/huile. Il est dirigé vers un séparateur à triple effet dans lequel l'air est débarrassé de l'huile qu'il contient.

L'épuration ultime de l'air est assurée par une cartouche de déshuilage à grand pouvoir séparateur. L'huile est ainsi totalement récupérée et après passage dans un réfrigérant, retourne au compresseur sous l'effet de la pression.

Toutefois ce type de compresseur n'est plus recommandé en raison des risques d'incendie qu'ils ont provoqués sur quelques installations.

En effet lors de l'usure ou bien de l'augmentation des jeux mécaniques des vis l'huile se vaporise et s'enflamme au contact de l'air et des parties chaudes

Caractéristiques générales

- Débit volume aspiré : 150 à 20 000 m³/h
- Pression de refoulement : jusqu'à 50 bars

- Vitesse de rotation : 3 000 à 20 000 tr/mn
- Vitesse périphérique : 20 à 40 m/s

-**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 [6]

e.4) Conception et fabrication :

Les efforts axiaux atteignent 10 000 N pour un compresseur de 30 m³/min refoulant à 10 bars.

Il est donc nécessaire de compenser ces efforts par un système mécanique : piston alimenté par la pression de refoulement.

Les efforts radiaux atteignent 6 500 N côté refoulement et 3 000 N côté aspiration pour un compresseur de 30 m³/min refoulant à 10 bars.

Les deux vis ont tendance à se repousser de plus en plus en fonction de la compression.

La résultante dynamique donne un travail en flexion rotative, ce qui impose de dimensionner les paliers en conséquence, mais ce dimensionnement est limité par l'entraxe des deux rotors.

Cet état de fait explique la limite maximale de pression que peut atteindre cette technologie.

Dans le cas de la conduite par le rotor mâle, le couple transmis au rotor femelle est de l'ordre de 5 à 25 % du couple d'entrée.

Dans le cas de la conduite par le rotor femelle, le couple transmis au rotor mâle est de l'ordre de 50 à 65 %. En conséquence, c'est le rotor mâle qui est presque toujours menant. La conduite par le rotor femelle est faite seulement sur les petits compresseurs (débit de 4 à 12 m³/min) pour lesquels l'augmentation de vitesse permet d'améliorer l'efficacité volumétrique. [7]

I.4 Compresseur a vis lubrifiées : atlas COPCO GA15 :



Figure(I.9) : compresseur à vis Atlas COPCO GA15

I.4.1 Les composantes de compresseur GA15 :

- Structure de l'élément compresseur :

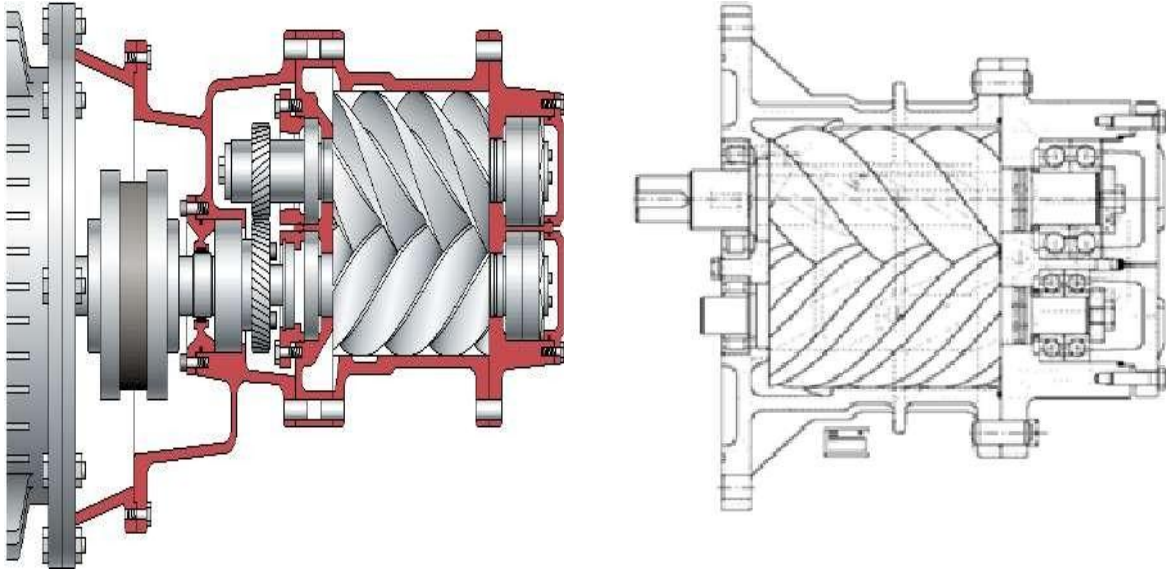
- Rotors (ou « vis »).
- Roulements.
- Carters.
- Engrenage d'entraînement ou poulie d'entraînement afin d'obtenir la vitesse de rotor requise.

•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



Figure(I.10) : 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. . [6]

• **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). . [6]

I.4.2 Le profile asymétrique :

• **Rotor a vitesse de rotation modérée :**

- durée de vie des roulements.
- Réduction de l'usure.

–Faibles pertes mécaniques.

•**Meilleure étanchéités** : 3 points :

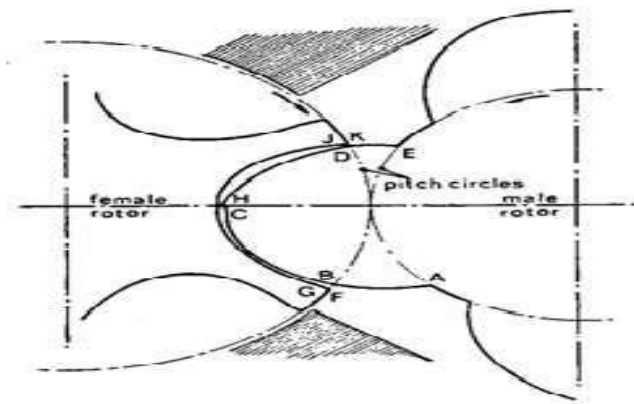
(D, C et G) au lieu d'une surface.

–Faible pertes volumétriques.

–Haut rendement.

•**Points de contact des rotors coïncident avec la ligne d'engrènement** :

–Réduction du jeu entre rotors



Figure(I.11) : Ensemble de rotors



Figure(I.12) : Asymétrique profile

I .4.3 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. . [6]

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. . [6]

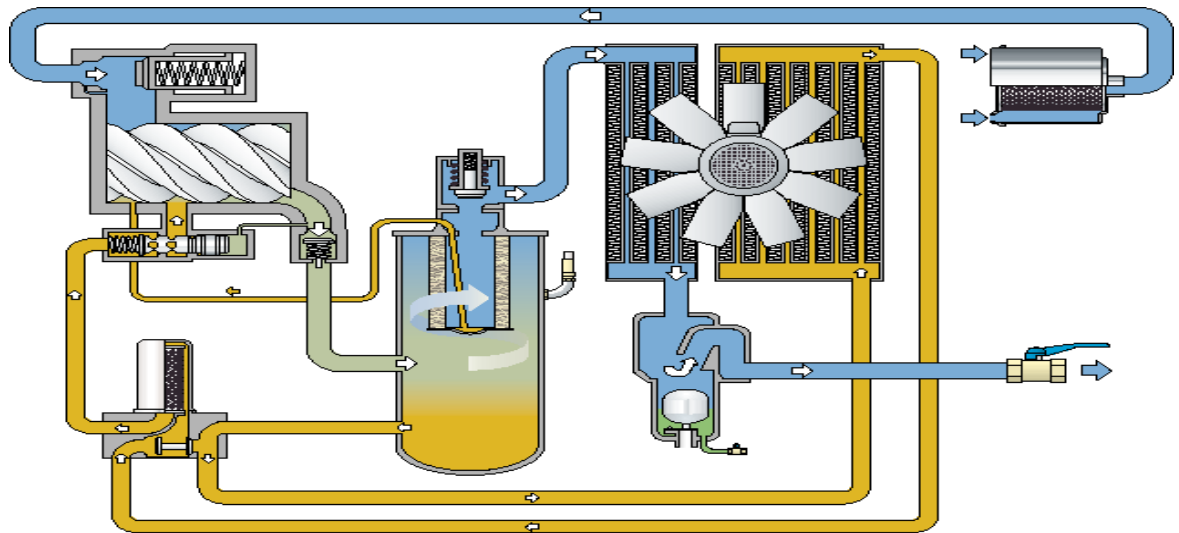
Les fonctions de l'huile dans la chambre de compression sont :

- 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.



séparé

Figure(13) : schéma du compresseur ATLAS-COPCO GA15

a) Circuit d'air :

Le système comprend :

- AF : Filtre à air
- UA : Tête d'aspiration

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

L'air est aspiré à travers le filtre à air (AF) et la tête d'aspiration (UA) puis comprimé dans l'élément compresseur(E). [6]

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. [6]

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.

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. . [6]

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. [6]

- 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. [6]

I.5 Conclusion :

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

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

Pour être et demeurer compétitive, une entreprise doit produire toujours mieux et au coût le plus bas. Pour minimiser ce coût, on fabrique plus vite et sans interruption des produits de qualité, sans défaut afin d'atteindre la production maximale par unité de temps.

L'automatisation et l'informatique ont permis d'accroître considérablement cette rapidité de production. Cependant, les limitations technologiques des moyens de production ne permettent pas d'augmenter les cadences. De plus, produire plus sous-entend produire sans ralentissements, ni arrêts. Pour cela, le système de production ne doit subir qu'un nombre minimum de temps de non production. Exceptés les arrêts inévitables dû à la production elle-même, les machines ne doivent jamais (ou presque) connaître de défaillances tout en fonctionnant à un régime permettant le rendement maximal.

Cet objectif est un des buts de la fonction maintenance d'une entreprise. Il s'agit de maintenir un bien dans un état lui permettant de répondre de façon optimale à sa fonction.

II.2 La maintenance

II.2.1 Définition de la maintenance :

La maintenance est un ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé. Bien maintenir, c'est assurer ces opérations au coût optimal.

Maintenir : contient la notion de «prévention» sur un système en fonctionnement.

Rétablir : contient la notion de «correction» consécutive à une perte de fonction.

État spécifié ou service déterminé : implique la prédétermination d'objectif à atteindre, avec quantification des niveaux caractéristiques.

Coût optimal qui conditionne l'ensemble des opérations dans un souci d'efficacité.

II.2.2 Entretien ou maintenance :

-Entretien, c'est dépanner et réparer un parc matériel, afin d'assurer la continuité de la production : Entretien, c'est subir le matériel

-Maintenir, c'est choisir les moyens de prévenir, de corriger ou de rénover suivant l'usage du matériel, suivant sa criticité économique, afin d'optimiser le coût global : Maintenir, c'est maîtriser

II.2.3 La défaillance :

II.2.3.1 Définition de la défaillance :

Altération ou cessation d'un bien à accomplir sa fonction requise (en anglais « failure », dysfonctionnement, dommages, anomalies, avaries, incidents, défauts, pannes, détériorations).

Une défaillance peut être :

- Partielle : il y a altération d'aptitude du bien à accomplir sa fonction requise.
- Complexe : il y a cessation d'aptitude du bien à accomplir sa fonction requise.
- Intermittente : le bien retrouve son aptitude au bout d'un temps limité action corrective. [8]

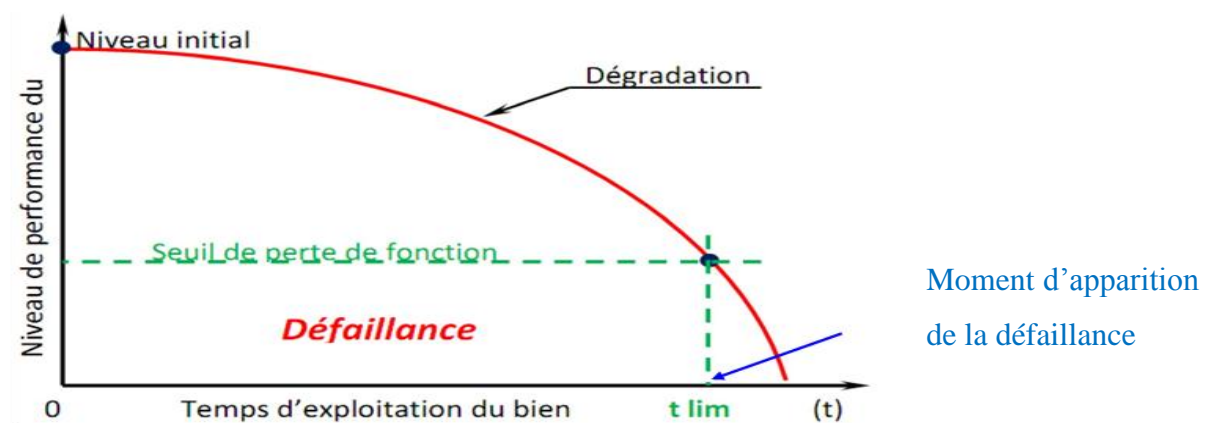


Figure (II.01) : Evolution de la dégradation d'un bien

«La dégradation est la perte des performances d'une fonction assurée sans conséquence fonctionnelle sur un système d'ensemble»

La défaillance est la conséquence d'un défaut, dont la cause est une faute.

II.2.4 Les différents types de maintenance :

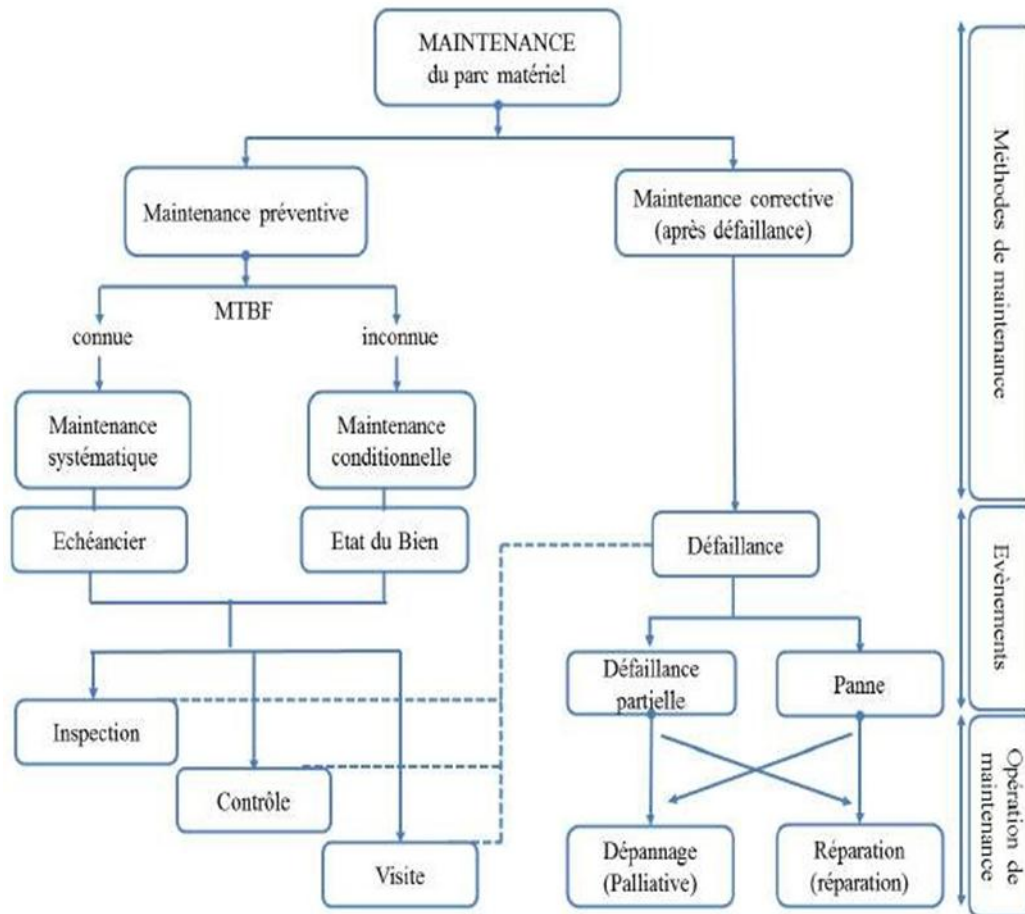


Figure (II.02) : Organigramme synthétique

II.2.4.1 La maintenance préventive :

Maintenance effectuée selon des critères prédéterminés, dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu.

Elle doit permettre d'éviter les défaillances du matériel en cours d'utilisation.

L'analyse des coûts doit mettre en évidence un gain par rapport aux défaillances qu'elle permet d'éviter.

Objectifs de la maintenance préventive :

- Augmenter la durée de vie du matériel.
- Diminuer la probabilité des défaillances en service.
- Diminuer les temps d'arrêt en cas de révision ou de panne.
- Prévenir et aussi prévoir les interventions coûteuses de maintenance corrective.
- Permettre de décider la maintenance corrective dans de bonnes conditions.
- Eviter les consommations anormales d'énergie, de lubrifiant, etc....

- Améliorer les conditions du travail du personnel de production.
- Diminuer le budget de maintenance.
- Supprimer les causes d'accidents graves. [8]

a) La maintenance préventive systématique :

Maintenance préventive effectuée selon un échéancier établi selon le temps ou le nombre d'unités d'usage (d'autres unités peuvent être retenues telles que : la quantité, la longueur et la masse des produits fabriqués, la distance parcourue, le nombre de cycles effectués, etc.).

Cette périodicité d'intervention est déterminée à partir de la mise en service ou après une révision complète ou partielle.

Cette méthode nécessite de connaître :

- Le comportement du matériel.
- Les modes de dégradation.
- Le temps moyen de bon fonctionnement entre 2 avaries.

Cas d'application :

- Equipements soumis à une législation en vigueur (sécurité réglementée) : appareils de levage, extincteurs, convoyeurs, ascenseurs, monte-charge, etc....
- Equipements dont la panne risque de provoquer des accidents graves : transport en commun des personnes, avions, trains, etc....
- Equipement ayant un coût de défaillance élevé : éléments d'une chaîne de production automatisée
- Equipements dont les dépenses de fonctionnement deviennent anormalement élevées au cours de leur temps [8]

b) La maintenance préventive conditionnelle :

Maintenance prédictive (terme non normalisé). C'est la maintenance préventive subordonnée à un type d'événement prédéterminé (auto diagnostic, information d'un capteur, mesure d'une usure, etc...).

La maintenance conditionnelle est donc une maintenance dépendante de l'expérience et faisant intervenir des informations recueillies en temps réel. Elle se caractérise par la mise en évidence des points faibles (surveillance de ces points et décision d'une intervention si certains seuils sont atteints).

Contrôles systématiques avec des moyens de contrôle non destructifs.

Tout le matériel est concerné ; cette maintenance préventive conditionnelle se fait par des mesures pertinentes sur le matériel en fonctionnement.

Les paramètres mesurés peuvent porter sur :

- Le niveau et la qualité de l'huile.
- Les températures et les pressions.
- La tension et l'intensité du matériel électrique.
- Les vibrations et les jeux mécaniques.
- Le matériel nécessaire pour assurer la maintenance préventive conditionnelle devra être

fiable pour ne pas perdre sa raison d'être. Il est souvent onéreux, mais pour des cas bien choisis, il est rentabilisé rapidement. [8]

c) Opérations de la maintenance préventive :

Ces opérations trouvent leurs définitions dans la norme NF X 60-010 et NF EN 13306.

- **Inspection** : contrôle de conformité réalisé en mesurant, observant, testant ou calibrant les caractéristiques significatives ; elle permet de relever des anomalies et d'exécuter des réglages simples ne nécessitant pas d'outillage spécifique, ni d'arrêt de la production ou des équipements (pas de démontage).

- **Contrôle** : vérification de la conformité à des données préétablies, suivie d'un jugement. Ce contrôle peut déboucher sur une action de maintenance corrective ou alors inclure une décision de refus, d'acceptation ou d'ajournement.

- **Visite** : examen détaillé et prédéterminé de tout (visite générale) ou partie (visite limitée) des différents éléments du bien et pouvant impliquer des opérations de maintenance du premier et du deuxième niveau ; il peut également déboucher sur la maintenance corrective.

- **Test** : comparaison des réponses d'un système par rapport à un système de référence ou à un phénomène physique significatif d'une marche correcte.

- **Echange standard** : remplacement d'une pièce ou d'un sous-ensemble défectueux par une pièce identique, neuve ou remise en état préalablement, conformément aux prescriptions du constructeur.

- **Révision** : ensemble complet d'examens et d'actions réalisées afin de maintenir le niveau de disponibilité et de sécurité d'un bien. Une révision est souvent conduite à des intervalles prescrits du temps ou après un nombre déterminé d'opérations. Une révision demande un démontage total ou partiel du bien. [8]

II.2.4.2 La maintenance Corrective :

a) Définition AFNOR (norme X 60-010) :

Opération de maintenance effectuée après défaillance.

La maintenance corrective correspond à une attitude de défense (subir) dans l'attente d'une défaillance fortuite, attitude caractéristique de l'entretien traditionnel.

Après apparition d'une défaillance, la mise en œuvre d'un certain nombre d'opérations dont les définitions sont données ci-dessous. Ces opérations s'effectuent par étapes (dans l'ordre) :

- test : c'est à dire la comparaison des mesures avec une référence.
- détection ou action de déceler l'apparition d'une défaillance.
- localisation ou action conduisant à rechercher précisément les éléments par lesquels la défaillance se manifeste.
- diagnostic ou identification et analyse des causes de la défaillance.
- dépannage, réparation ou remise en état (avec ou sans modification).
- contrôle du bon fonctionnement après intervention.
- amélioration éventuelle : c'est à dire éviter la réapparition de la panne.
- historique ou mise en mémoire de l'intervention pour une exploitation ultérieure. [8]

b) Le temps en maintenance corrective :

Les actions de maintenance corrective étant très diverses, il est toujours difficile de prévoir la durée d'intervention :

- Faible (de quelques secondes pour réarmer un disjoncteur ou changer un fusible à quelques minutes pour changer un joint qui fuit).
 - Très importante (de 0,5 à plusieurs heures) dans le cas du changement de plusieurs organes simultanément (moteur noyé par une inondation).
 - Majeure en cas de mort d'homme (plusieurs jours si enquête de police).

Le responsable maintenance doit donc tenir compte de ces distorsions et avoir à sa disposition une équipe « réactive » aux événements aléatoires. Pour réduire la durée des interventions, donc les coûts directs et indirects (coûts d'indisponibilité de l'équipement), on peut :

- Mettre en place des méthodes d'interventions rationnelles et standardisées (outillages spécifiques, échanges standards, logistique adaptée, etc..).
- Prendre en compte la maintenabilité des équipements dès la conception (trappe de visites accessibles, témoins d'usure visible, etc...). [8]

II.2.5 Applications des méthodes de maintenance

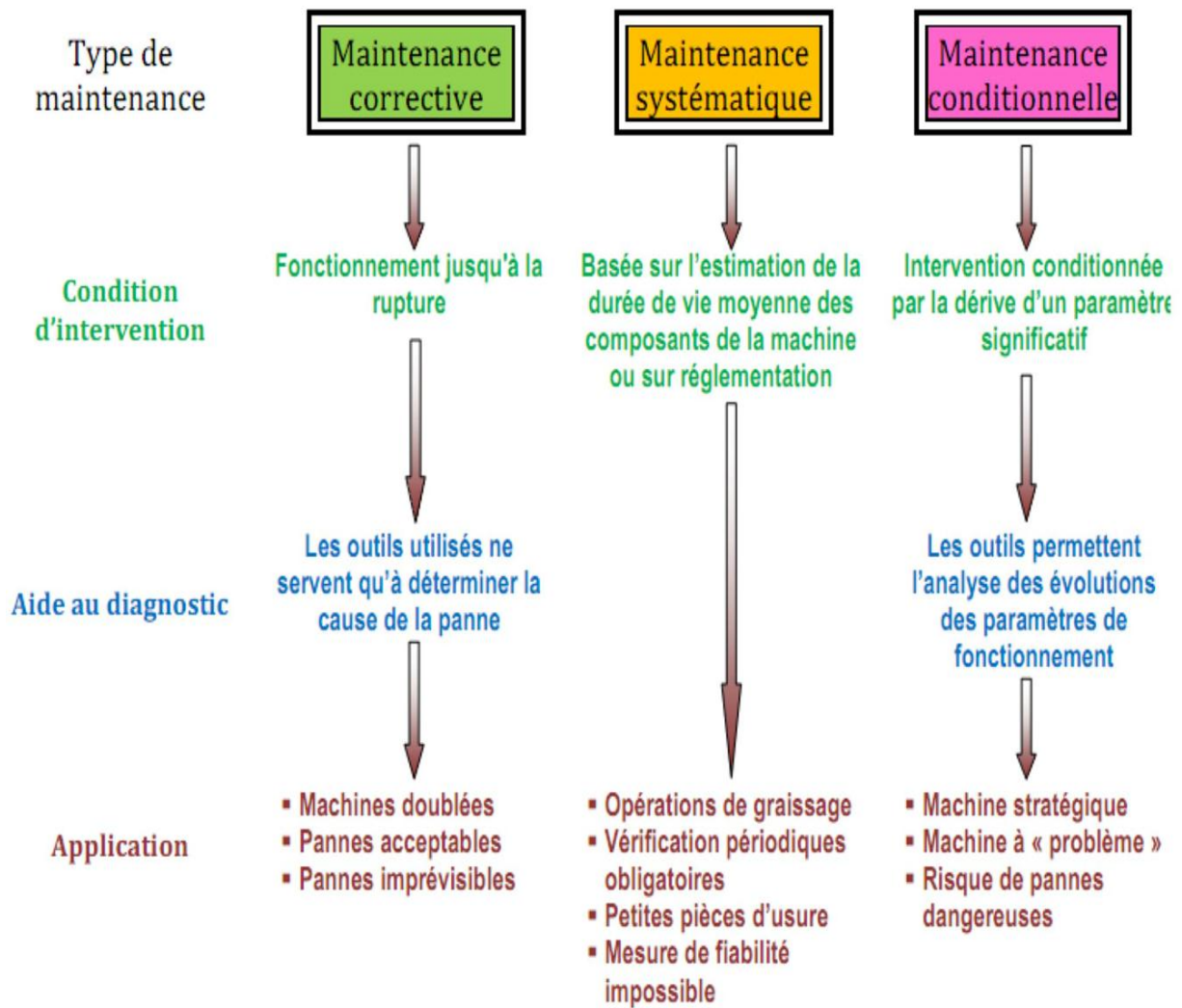


Figure (II.03) : Applications des méthodes de maintenance

II.2.6 La maintenance améliorative :

L'amélioration des biens d'équipement est un « ensemble des mesures techniques, administratives et de gestion, destinées à améliorer la sûreté de fonctionnement d'un bien sans changer sa fonction requise » (norme NF EN 13306).

Modifications apportées à la conception d'origine dans le but d'augmenter la durée de vie des composants, de les standardiser, de réduire la consommation d'énergie, d'améliorer la maintenabilité, etc...

a) Objectifs :

Cette maintenance est un état d'esprit nécessitant un pouvoir d'observation critique et une attitude créative. Un projet d'amélioration passe obligatoirement par une étude économique sérieuse (rentabilité). Tout le matériel peut concerner, sauf matériel proche de la réforme. Les objectifs sont :

- L'augmentation des performances de production.
- L'augmentation de la fiabilité.
- L'amélioration de la maintenabilité.
- La standardisation de certains éléments ou sous-ensemble,
- L'augmentation de la sécurité des utilisateurs. [8]

b) Opération de maintenance améliorative

Rénovation :

Inspection complète de tous les organes, la reprise dimensionnelle complète ou le remplacement des pièces déformées, la vérification des caractéristiques et éventuellement, la réparation des pièces et sous-ensembles défaillants. C'est donc une suite possible à une révision générale. Une rénovation peut donner lieu à un échange standard.

Reconstruction :

« Action suivant le démontage du bien principal et remplacement des biens qui approchent de la fin de leur durée de vie 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. La reconstruction impose le remplacement de pièces vitales par des pièces d'origine ou des pièces neuves équivalentes. La reconstruction peut être assortie d'une modernisation ou de modifications. Les modifications peuvent apporter un plus en terme de disponibilité (redondance), d'efficacité, de sécurité, etc.... Attention toutefois à une forme particulière de reconstruction : c'est la

« Cannibalisation » qui consiste à récupérer, sur le matériel mis au rebut (casse), des éléments en bon état, de durée de vie espérée inconnue, et de les utiliser en rechanges ou en pièces de rénovation. Est- cette une bonne solution ?...

Modernisation :

C'est le remplacement d'équipements, d'accessoires, des logiciels par des sous-ensembles apportant, grâce à des perfectionnements techniques n'existant pas sur le bien d'origine, une amélioration de l'aptitude à l'emploi du bien. Une modernisation peut intervenir dans les opérations de rénovation ou de reconstruction. [8]

II.2.7 Les niveaux de maintenance :

1er niveau :

Réglages simples prévus par le constructeur au moyen d'éléments accessibles sans aucun démontage ou ouverture de l'équipement, ou échanges d'éléments consommables accessibles en toute sécurité, tels que voyants ou certains fusibles, etc.... Ce type d'intervention peut être effectué par l'exploitant du bien, sur place, sans outillage et à l'aide des instructions d'utilisation. Le stock des pièces consommables nécessaires est très faible.

2ème niveau :

Dépannage par échange standard des éléments prévus à cet effet et opérations mineures de maintenance préventive, telles que graissage ou contrôle de bon fonctionnement. Ce type d'intervention peut être effectué par un technicien habilité de qualification moyenne, sur place, avec l'outillage portable défini par les instructions de maintenance, et à l'aide de ces mêmes instructions. On peut se procurer les pièces de rechange transportables nécessaires sans délai et à proximité immédiate du lieu d'exploitation.

3ème niveau :

Identification et diagnostic des pannes, réparations par échange de composants ou d'éléments fonctionnels, réparations mécaniques mineures et toutes opérations courantes de maintenance préventive telles que réglage général ou réaligement des appareils de mesure. Ce type d'intervention peut être effectué par un technicien spécialisé, sur place ou dans le local de maintenance, à l'aide de l'outillage prévu dans les instructions de maintenance ainsi que des appareils de mesure et de réglage, et éventuellement des bancs d'essais et de contrôle des équipements et en utilisant l'ensemble de la documentation nécessaire à la maintenance du bien ainsi que les pièces approvisionnées par le magasin.

4ème niveau :

Tous les travaux importants de maintenance corrective ou préventive à l'exception de la rénovation et de la reconstruction. Ce niveau comprend aussi le réglage des appareils de mesure utilisés pour la maintenance, et éventuellement la vérification des étalons du travail par les organismes spécialisés. Ce type d'intervention peut être effectué par une équipe comprenant un encadrement technique très spécialisé, dans un atelier spécialisé.

5ème niveau :

Rénovation, reconstruction ou exécution des réparations importantes confiées à un atelier central ou à une unité extérieure. Par définition, ce type de travaux est donc effectué par le

constructeur, ou par le 22 reconstruteur, avec des moyens définis par le constructeur et donc proches de la fabrication. [8]

II.2.6 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. [8]

II.3 Fiabilité :

II.3.1 Définition :

Aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise dans des conditions données pendant un temps donné (NF EN 13306) ou « caractéristique d'un bien exprimée par la probabilité qu'il accomplisse une fonction requise dans des conditions données pendant un temps donné » (NF X 60-500).

La notion de temps peut prendre la forme :

- De nombre de cycles effectués ▶ machine automatique
- De distance parcourue ▶ matériel roulant
- De tonnage produit ▶ équipement de production [9]

II.3.2 Commentaires :

Un équipement est fiable s'il subit peu d'arrêts pour pannes. La notion de fiabilité s'applique :

- A du système réparable ▶ équipement industriel ou domestique.

- des systèmes non réparables → lampes, composants donc jetables

La fiabilité se caractérise par sa courbe R(t) appelée également « loi de survie » (R : reliability) et son taux de défaillance $\lambda(t)$. [9]

II.3.3 La fiabilité d'un équipement dépend de nombreux facteurs :

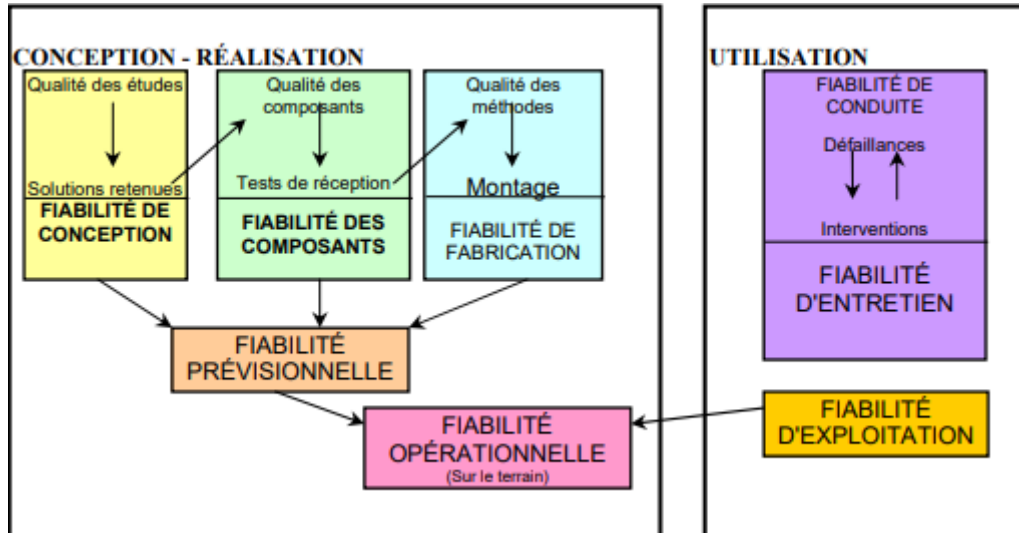


Figure (II.04) : La fiabilité d'un équipement

L'évolution de la durée de vie d'un équipement peut être tracée selon une courbe appelée courbe en baignoire. Selon que l'équipement, soit de type électronique ou mécanique, les allures du taux de défaillance sont différentes. [9]

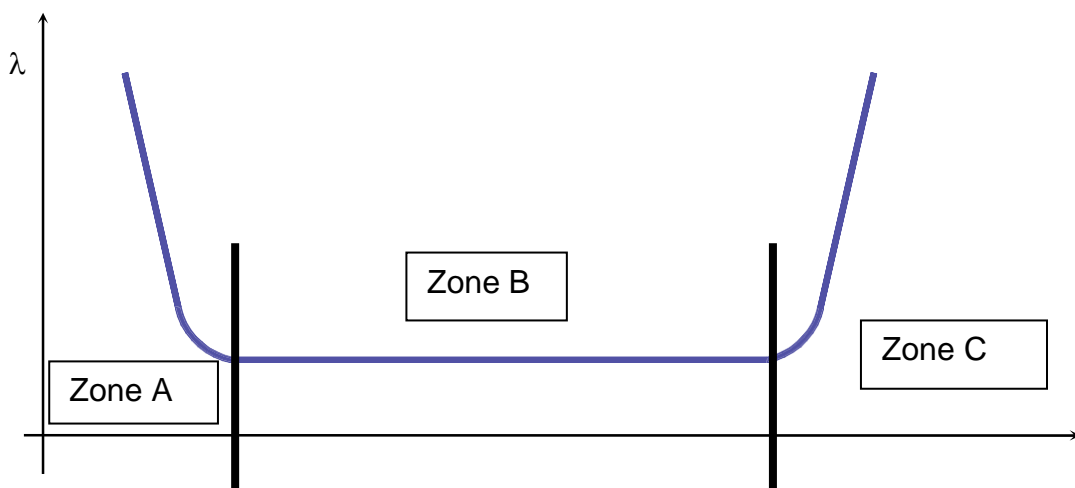


Figure (II.05) : la méthode ABC

Zone A › Epoque de jeunesse

Zone B › Epoque de maturité, fonctionnement normal, défaillance aléatoire indépendante du temps.

Zone C › Epoque d'obsolescence, défaillances d'usure ou pannes de vieillesse.

Le taux de défaillance, noté λ (t), est un indicateur de la fiabilité. Il représente une proportion de dispositifs survivants à un instant. [9]

II.3.4 Cas particulier de l'époque de maturité :

Dans cette période, le taux de défaillance est sensiblement constant et est égal à l'unité d'usage sur la MTBF. Les calculs qui suivent ne sont donc valables que pour cette période.

MTBF : Mean Time Between Failure : moyenne des temps de bon fonctionnement entre défaillances consécutives.

$$MTBF = \frac{\text{Temps de Bon Fonctionnement (TBF)}}{\text{Nombre de pannes}}$$

Calcul du taux de défaillance λ :

$$\lambda = \frac{1}{MTBF}$$

II.3.5 La Maintenabilité

II.3.5.1 Définition

Dans les conditions d'utilisation données pour lesquelles il a été conçu, la maintenabilité est l'aptitude d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits. (NF EN 13306). [9]

II.3.5.2 Commentaires

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

« Les moyens prescrits » englobent des notions très diverses : moyens en personnel, appareillages, outillages, etc. La maintenabilité d'un équipement dépend de nombreux facteurs

Factures liés à l' EQUIPEMENT		Facteurs liés au CONSTRUCTEUR		Facteurs liés à la MAINTENANCE
- documentation - aptitude au démontage - facilité d'utilisation		- conception - qualité du service après-vente - facilité d'obtention des pièces de Rechange - coût des pièces de rechange		- préparation et formation des Personnels - moyens adéquats - études d'améliorations (maintenance améliorative)

Tableau(II.02) : les facteurs de La maintenabilité

Remarques : on peut améliorer la maintenabilité en :

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

II.3.5.3 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.

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

Taux de réparation μ :

$$\mu = \frac{1}{MTTR}$$

II.3.6 Le concept de disponibilité :

II.3.6.1 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). [9]

II.3.6.2 Commentaires :

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

- Avoir le moins possible d'arrêts de production
- Etre rapidement remis en bon état s'il tombe en panne La disponibilité d'un équipement dépend de nombreux facteurs :

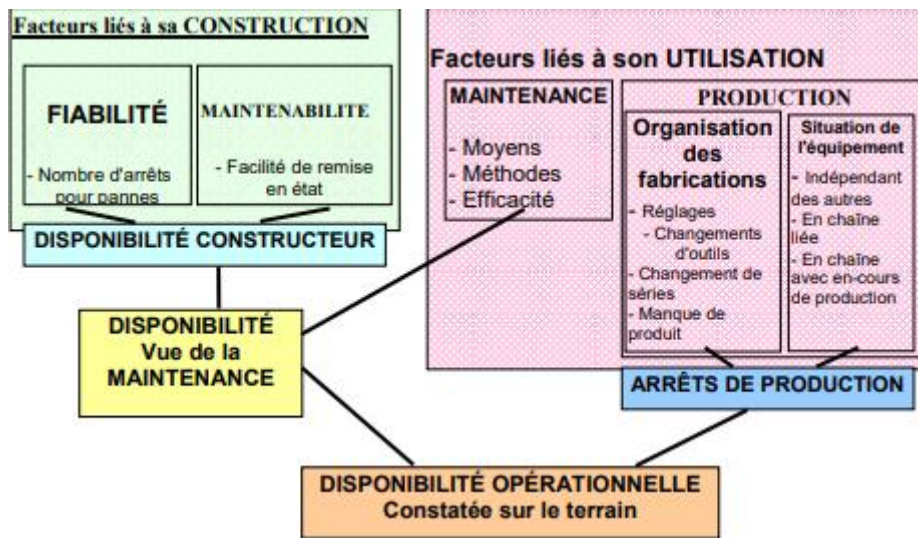


Figure (II.06) : La disponibilité d'un équipement

La disponibilité allie donc les notions de fiabilité et de maintenabilité.

Augmenter la disponibilité passe par :

- L'allongement de la MTBF (action sur la fiabilité)
- La notion de le MTTR (action sur la maintenance) [9]

II.3.6.3 Quantification de la disponibilité :

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

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

II.3.7 Modèle de WEIBULL :

II.3.7.1 Etude du model de WEIBULL :

En théorie des probabilités, la loi de Weibull, nommée d'après Waloddi Weibull en 1951 est une loi de probabilités continue à trois paramètres, donc d'un emploi très souple. La loi de Weibull est un cas spécial de loi d'extremum généralisée au même titre que la loi de Gumbel ou la loi de Fréchet.

En fonction de la valeur de ses paramètres, elle peut s'ajuster à toutes sortes de résultats expérimentaux ; il faut cependant noter que son emploi peut se relever moins avantageux que celui de lois plus simple, en particulier lors de l'application de tests statistiques.

Cette loi a été retenue pour représenter la durée de vie de pièces mécaniques comme les roulements à billes ou les engrenages.

Un variable aléatoire continue X , distribuée suivant une loi de Weibull, est caractérisée par :

- **sa densité de probabilité :**

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

β : appelé paramètre de forme

η : appelé paramètre d'échelle

γ : appelé paramètre de position (paramètre de décalage)

- **sa fonction de Défaillance est :**

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

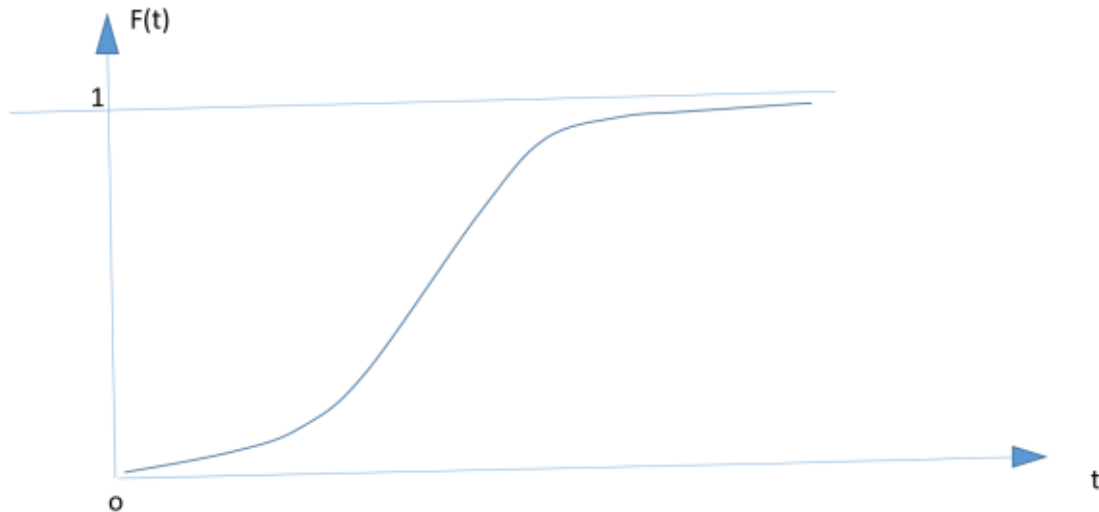


Figure (II.07) : Allure de la fonction de Défaillance $F(t)$

- **La fiabilité correspondante est :**

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

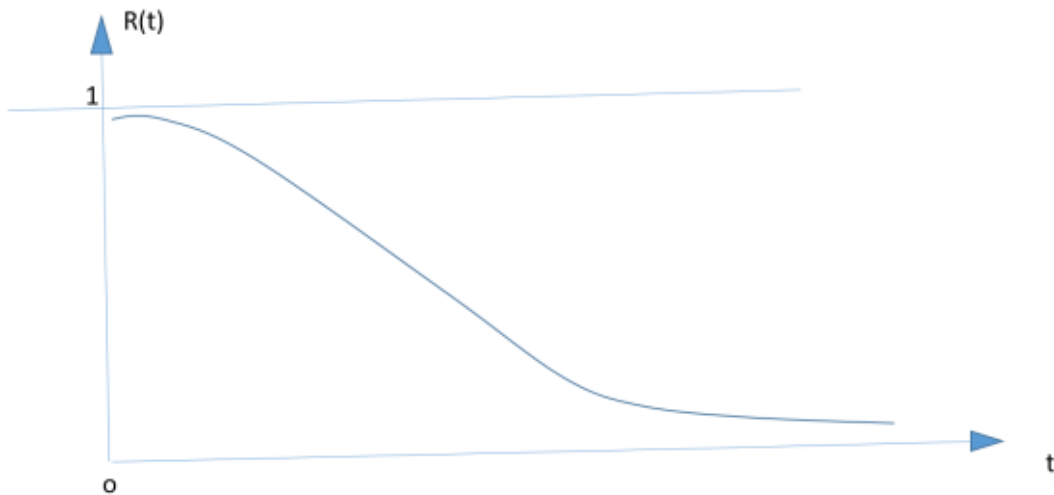


Figure (II.08) : Allure de la Fiabilité R(t)

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

- **Son espérance mathématique :**

$$E(t) = MTBF = \gamma + \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \text{ -Mean Time Between Failure}$$

- **Sa variance :**

$$v(t) = \eta^2 \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \right]$$

- **Taux de défaillance :**

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

On remarque que pour $\gamma = 0$ et $\beta = 1$

$$f(t) = \frac{1}{\eta} e^{-\frac{t}{\eta}}$$

C'est la distribution exponentielle, cas particulier de la distribution de Weibull.

- **Durée de vie : L**

La durée de vie est déterminée à partir de R(t)

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

$$\ln R(t) = -\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta$$

$$\ln \frac{1}{R(t)} = \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta$$

$$\ln \left(\frac{1}{R(t)} \right)^{\frac{1}{\beta}} = \frac{t-\gamma}{\eta}$$

$$D'où : t = \gamma + \eta \left(\ln \frac{1}{R(t)} \right)^{\frac{1}{\beta}} = L$$

Si $R(t) = 0,9$

$$t = L = \gamma + \eta (0.105)^{\frac{1}{\beta}}$$

II.3.7.2 Représentation Graphique :

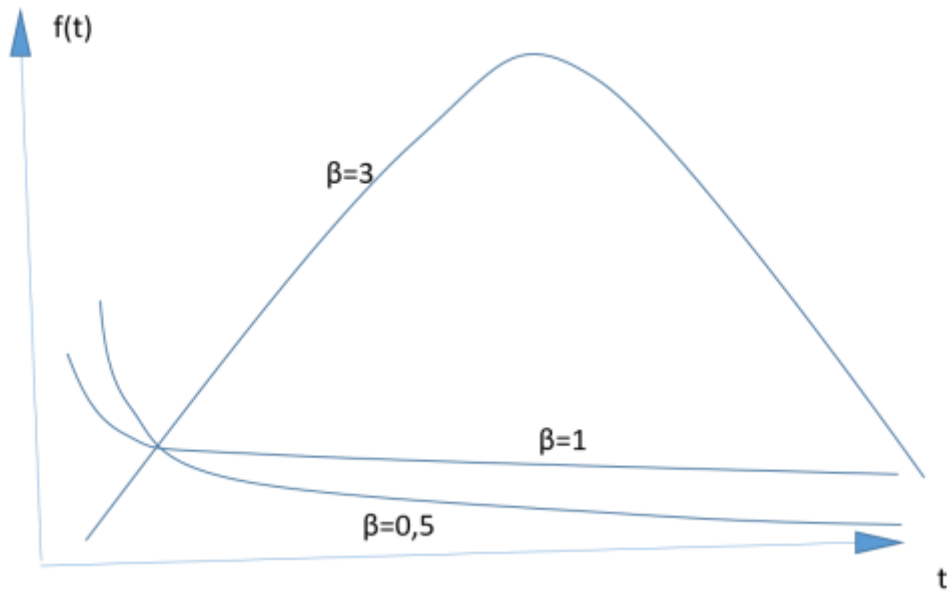


Figure (09) : Allure de la fonction de densité de défaillance pour diverses valeurs de β

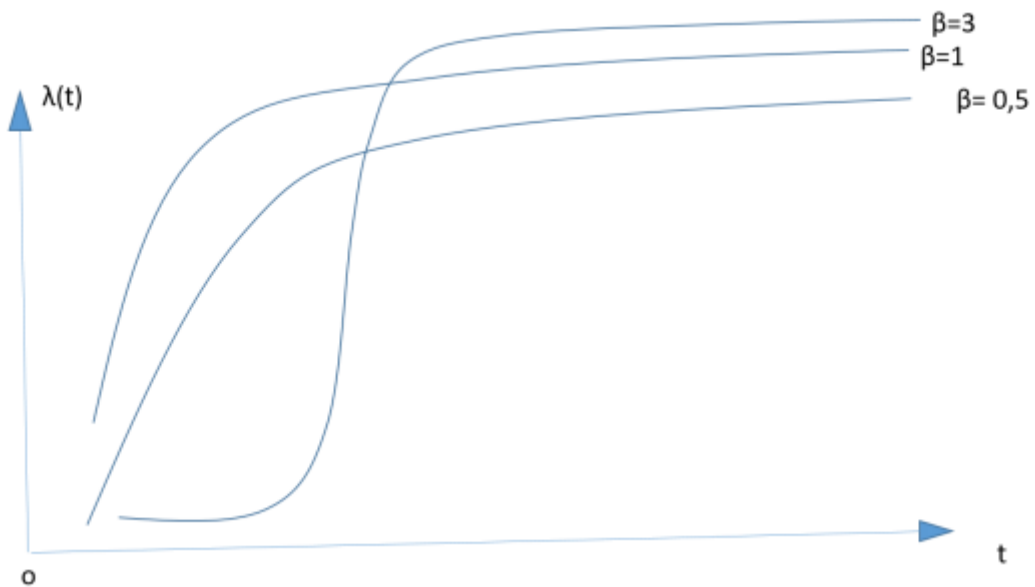


Figure (II.10) : Allure de la fonction de défaillance $F(t)$ pour diverse valeur de β

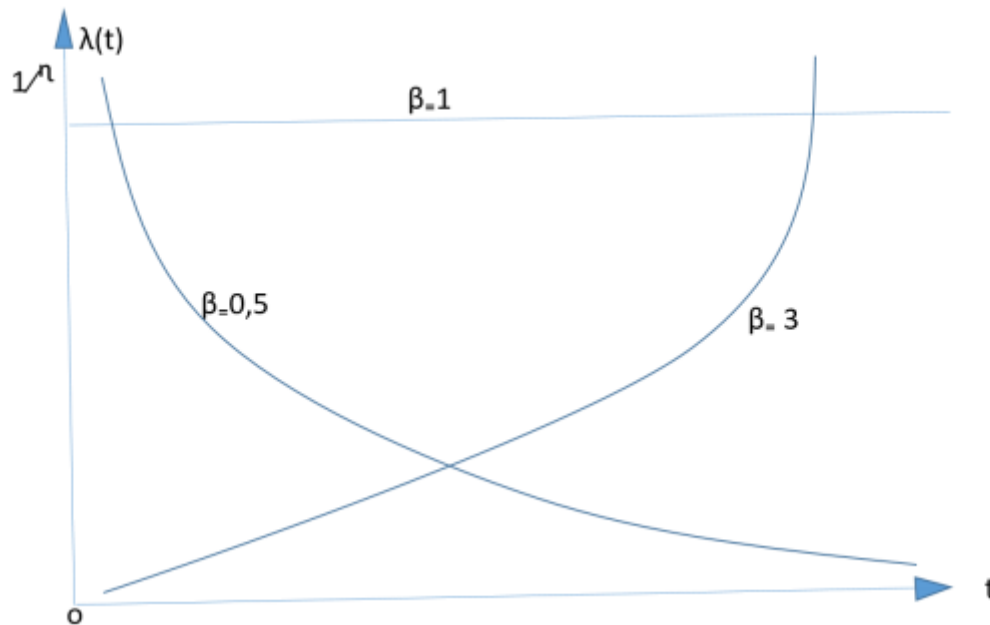


Figure (II.11) : Allure du taux de défaillance $\lambda(t)$

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

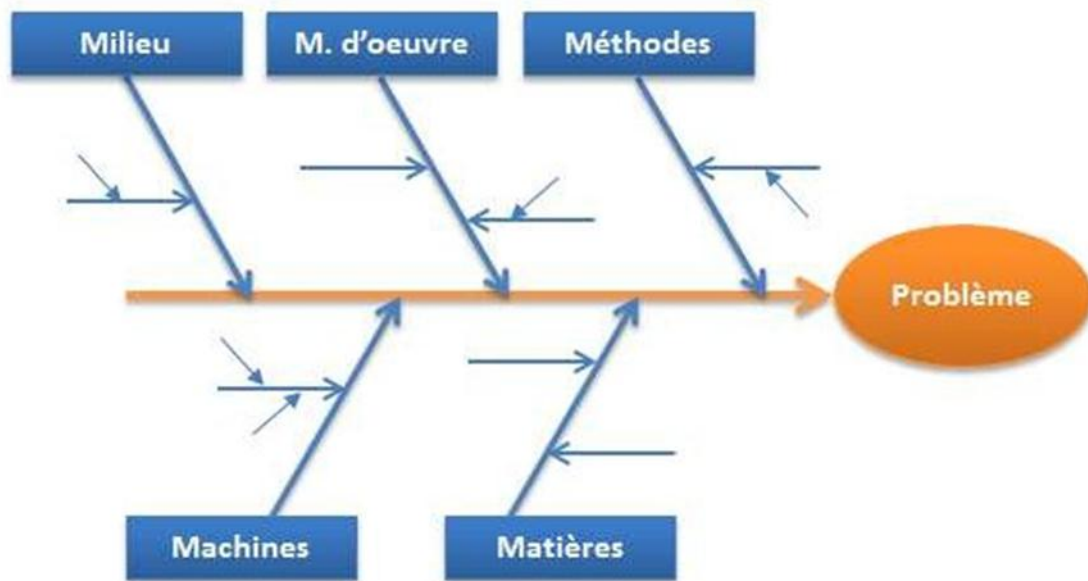


Figure (II.12) : Représentation graphique du diagramme de causes à effets

II.5 Analyse fonctionnelle

II.5 .1 LE S.A.D.T. : ANALYSE DESCENDANTE ET LIENS INTER - FONCTIONNELLE

Technique structurée d'analyse et de modélisation des systèmes (Structured Analysis Design Technique)

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 séquençement au sens strict [10]

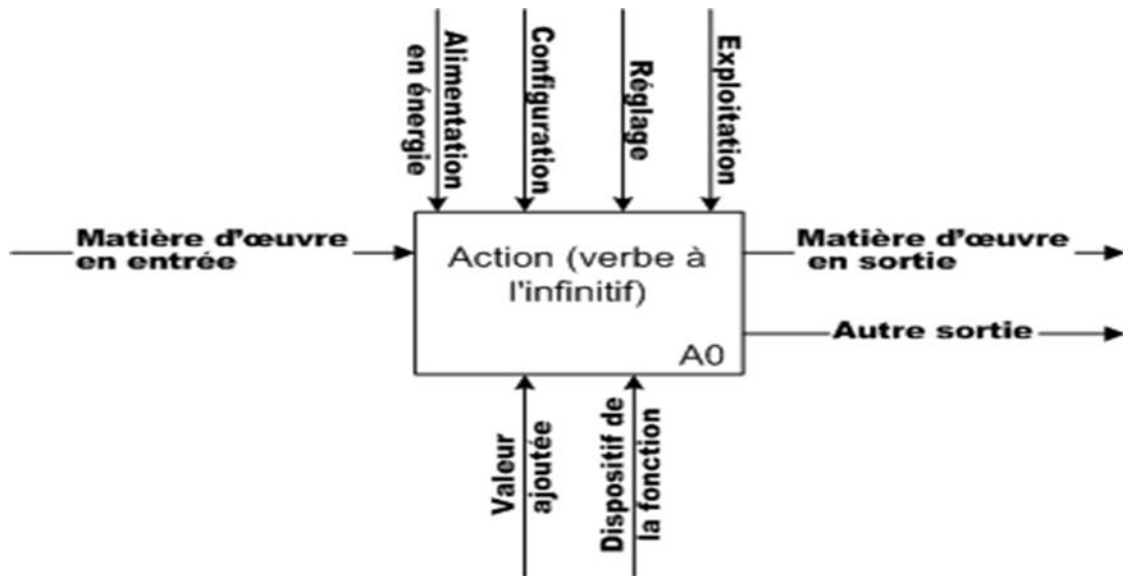


Figure (13) : S.A.D.T

II.5.2 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. [10]

II .6 Etude AMDEC

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

II .6.1 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. [11]

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. [11]

On distingue 2 types d'AMDEC :

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

II .6.3 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 [11]

II .6.4 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 .6.5 Tableau Des 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(02) : les indices de défaillance

II Partie calcul

II.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.

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

II.3 La méthode : « 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 (III.2) : L'analyse ABC (Pareto)

II.3.1 La Courbe de Pareto

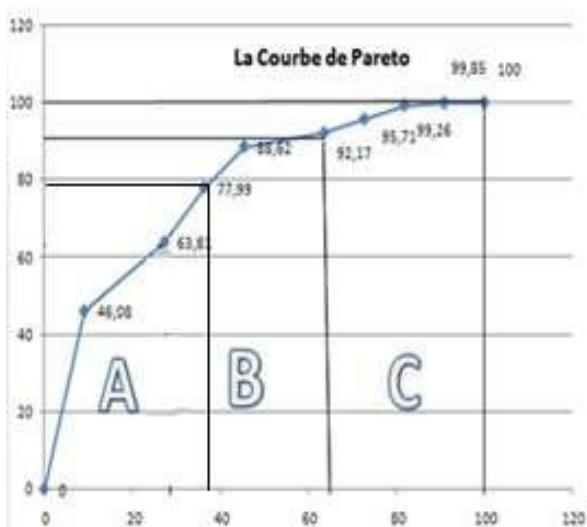


Figure (III.1) : La Courbe de Pareto

Interprétation des résultats :

Zone "A": à 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).

II.4 Calcul les paramètres de Weibull :

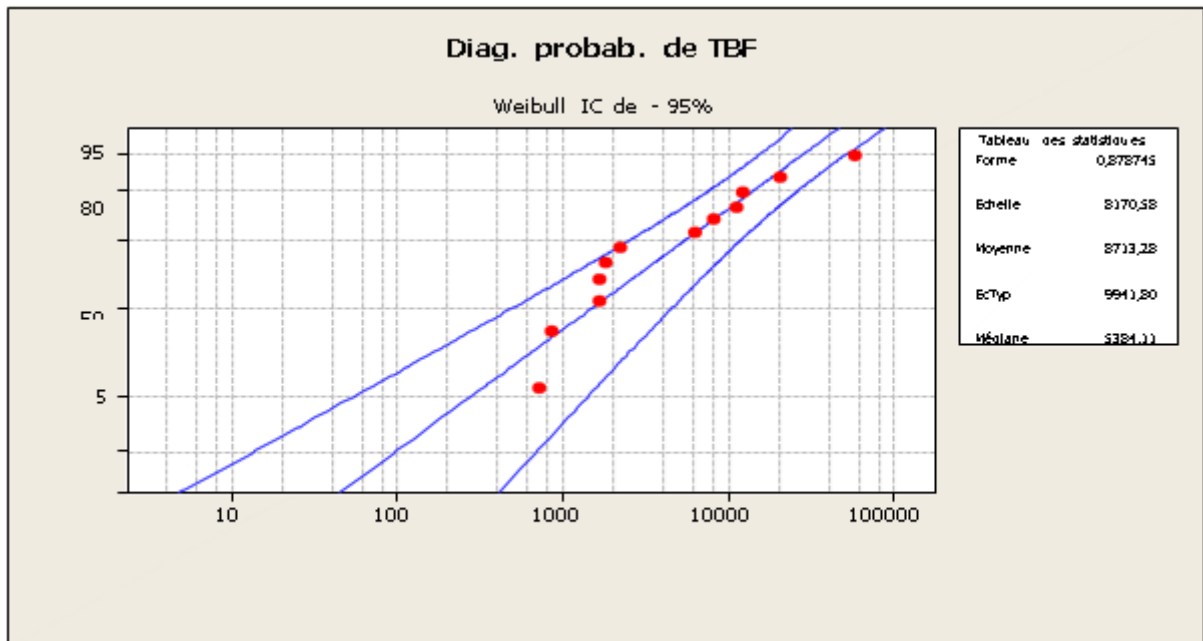
Le tableau suivant comporte les TBF classés par ordre croissant, et les F(i) calculés par la méthode des rangs médians

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

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

N°	TBF(h)	N	$\sum ni$	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

II.4.1 La Courbe de Weibull :



Figure(III.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.

II.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 . α Qui est donnée par la table de Kolmogorov Smirnov (voir sur table Annex2).

Si $D_{n,max} > D_n$. α 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 (III.4): test K-S (kolmogrov-smirnov)

D'après la table de K-S :

$D_{n,max} < D_n \alpha$ Ce qui veut dire que le modèle de Weibull est accepté.

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

$D_{n,max} = 0.1882$ 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). $MTBF = A\eta + \gamma$ (III.2)

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

a) La densité de probabilité en fonction de MTBF :

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

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

b) La fonction de répartition en fonction de MTBF :

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

$$F(t = MTBF) = 0.65 = 65\%$$

c) La fiabilité en fonction de MTBF :

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

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

On remarque que la fiabilité du compresseur est faible

d) Le taux de défaillance en fonction de MTBF :

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

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

e) Calcul du temps souhaitable pour une intervention systématique :

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

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

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

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

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

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

II.4.4 Étude de modèle de Weibull :

a) La fonction de la densité de probabilité :

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

$$f(t) = \lambda(t) \cdot R(t)$$

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

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

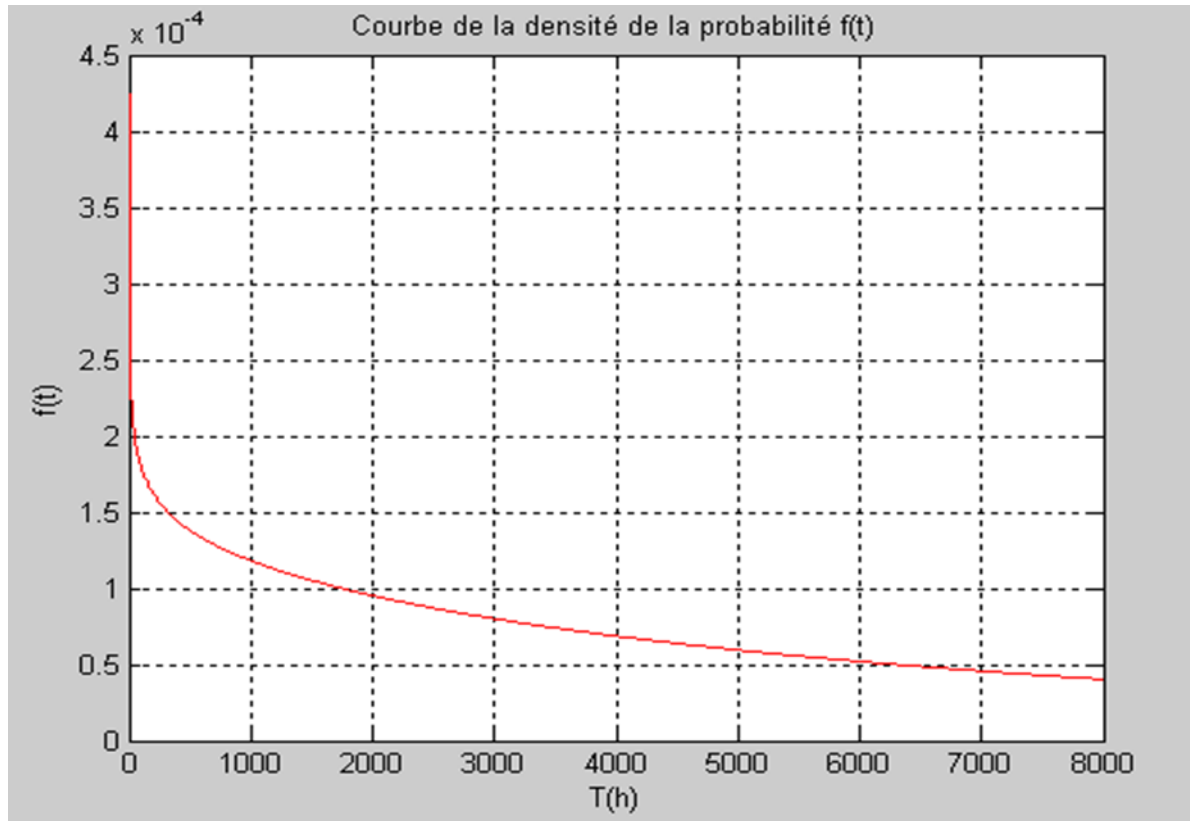


Figure (III.3) : La Courbe Densité De Probabilité (logiciel matlab)

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 (III.06) : Fonction de répartition

Courbe fonction de répartition F(t) :

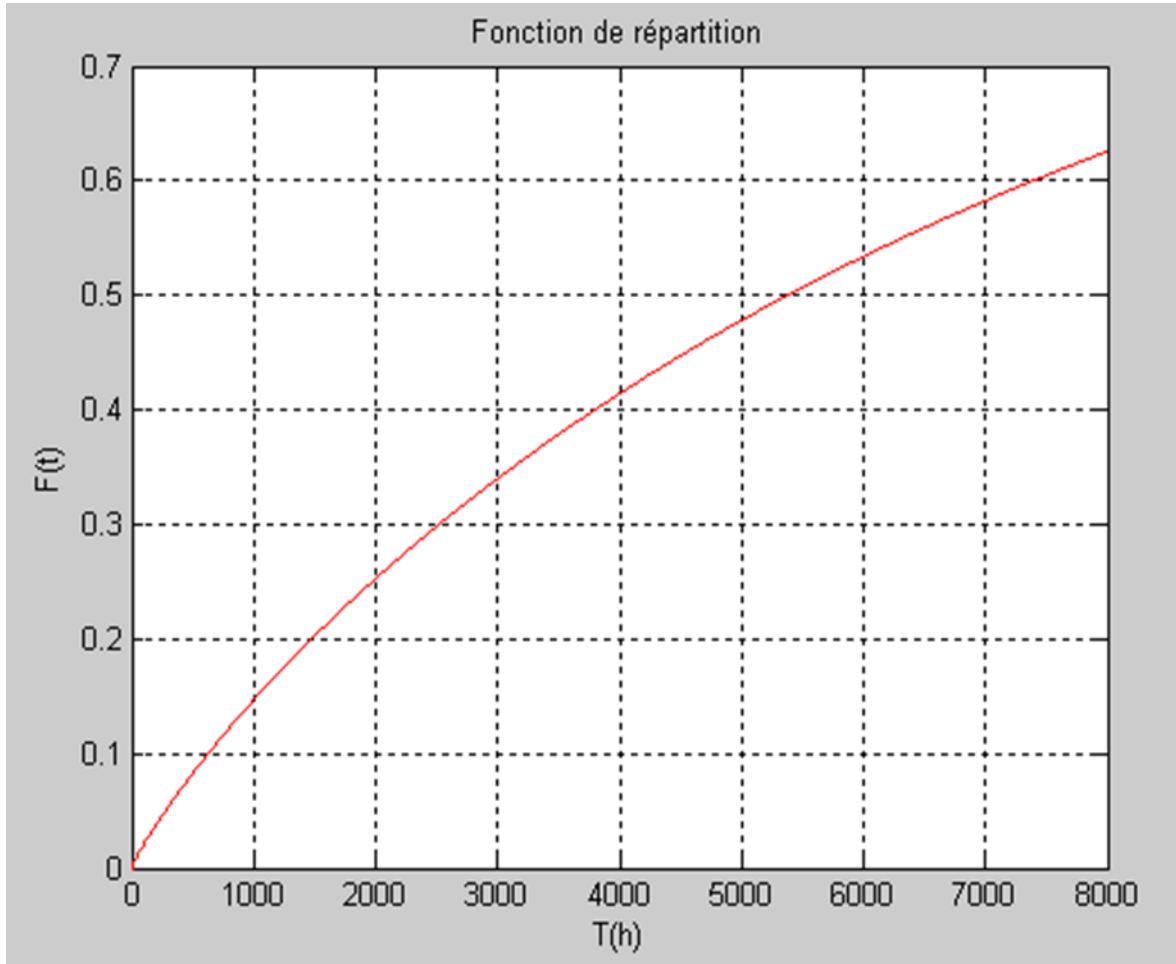


Figure (III.4) : La Courbe De Fonction Répartition (logiciel matlab)

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 $t=MTBF$, on déduit que la valeur n'est pas satisfaisante donc on peut dire que le compresseur n'est pas fiable à $t=MTBF$

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

$$R(t=MTBF) = 0,35$$

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 (III.07) : Calcul de la fiabilité

Courbe de la fiabilité :

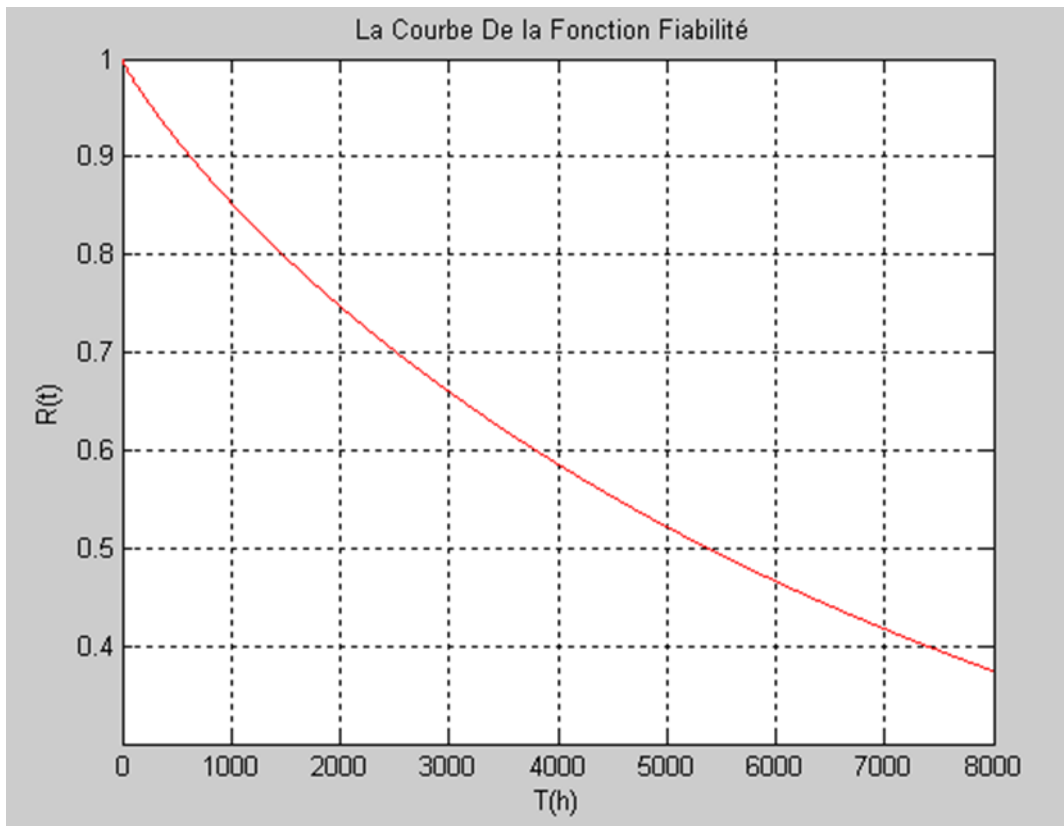


Figure (III.5) : La Courbe De la Fonction Fiabilité (logiciel matlab)

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 $\lambda(t)$:

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

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(III.8) : Le taux de défaillance

Courbe du taux de défaillance :

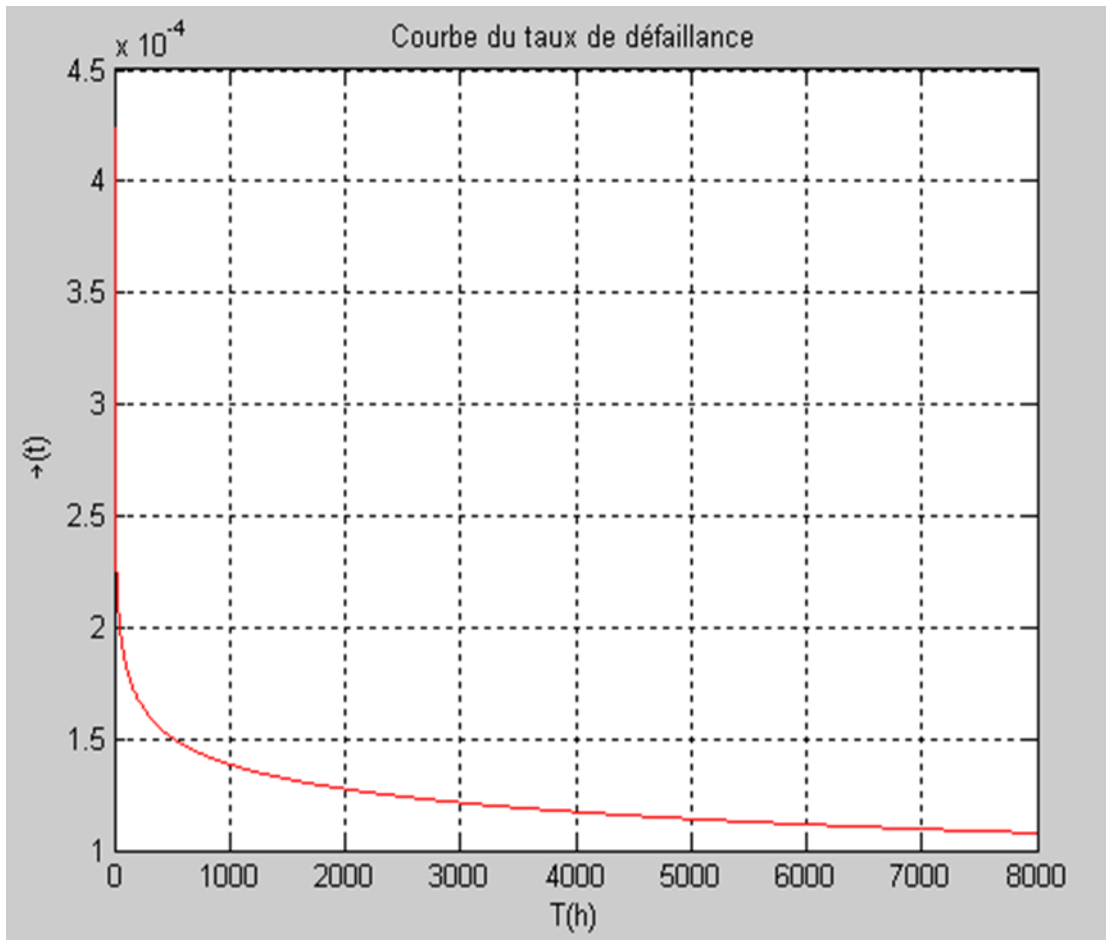


Figure (III.6) : Le courbe taux de défaillance (logiciel matlab)

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.

II.4.5 Calcul la Maintenabilité du compresseur

D'après l'historique des pannes du compresseur :

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

TTR : temps de réparation

N : nombre de panne.

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

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

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

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

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 (III.9) : La Maintenabilité du compresseur

Courbe de maintenabilité :

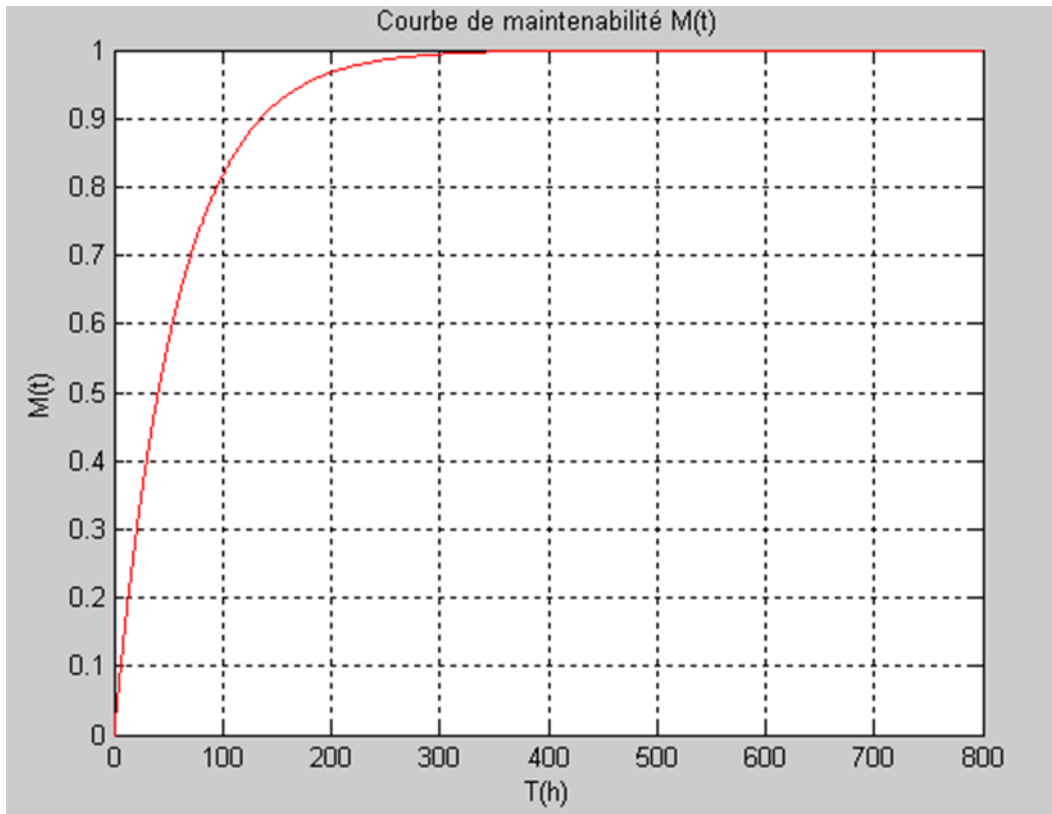


Figure (III.7) : La Courbe de Maintenabilité (logiciel matlab)

Analyse de la courbe :

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

II.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 :

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

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

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

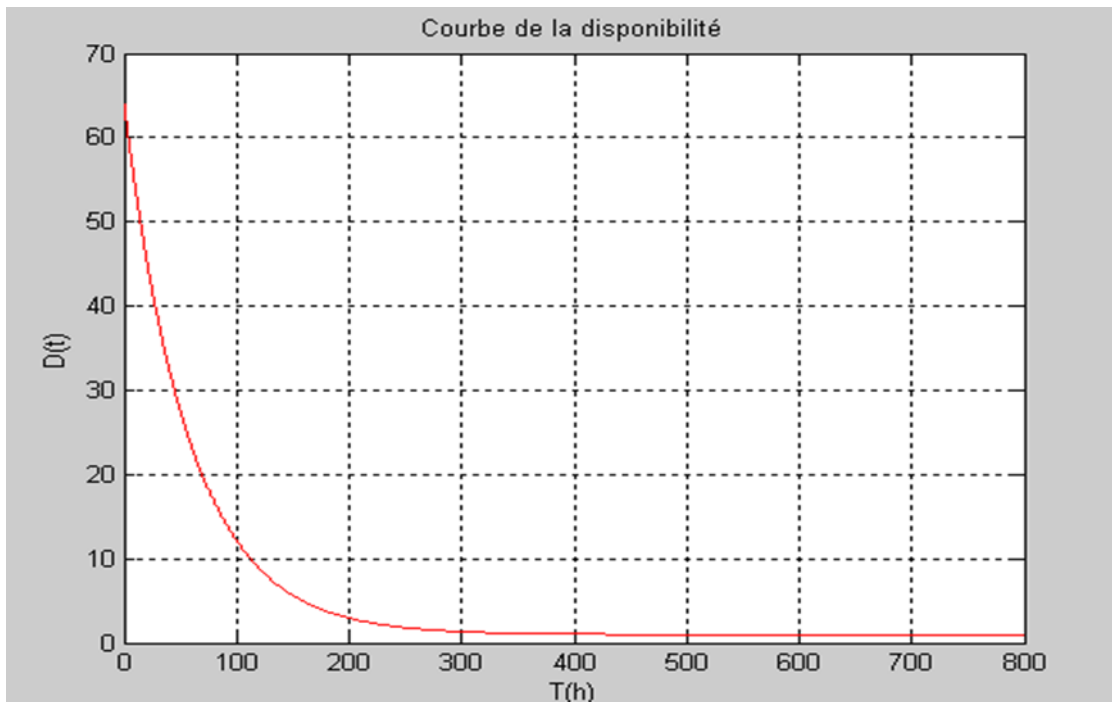
$$\mu + \lambda = 0,017 + 0,000115 = 0,017115$$

$$D(t) = \frac{0,017}{0,000115 + 0,017} + \frac{0,000115}{0,000115 + 0,017} e^{-(0,000115 + 0,017)t}$$

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 (III.10) : Tableau de disponibilité

Courbe de la disponibilité :



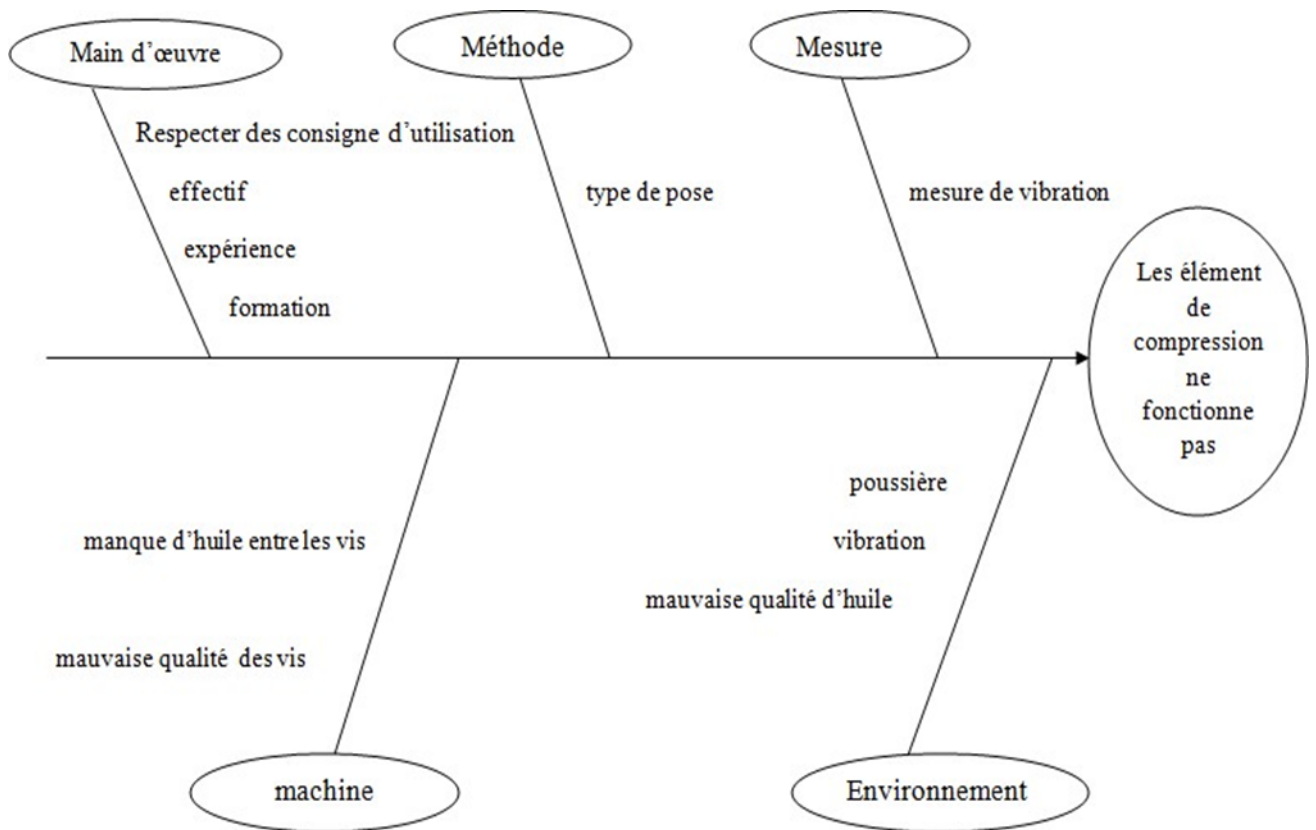
Figure(III.8) : Courbe de la disponibilité

Analyse de la courbe :

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

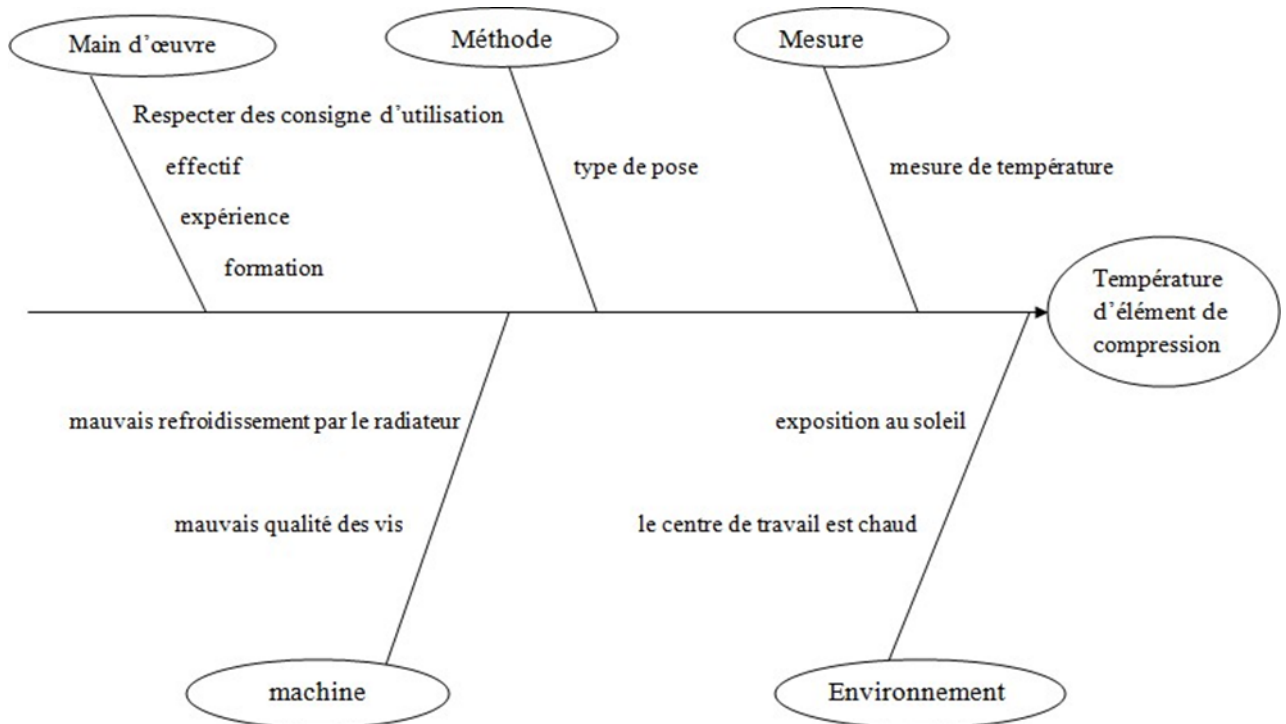
II.5 Diagramme causes-effet (ou ISHIKAWA ou en ARETE DE POISSON)

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



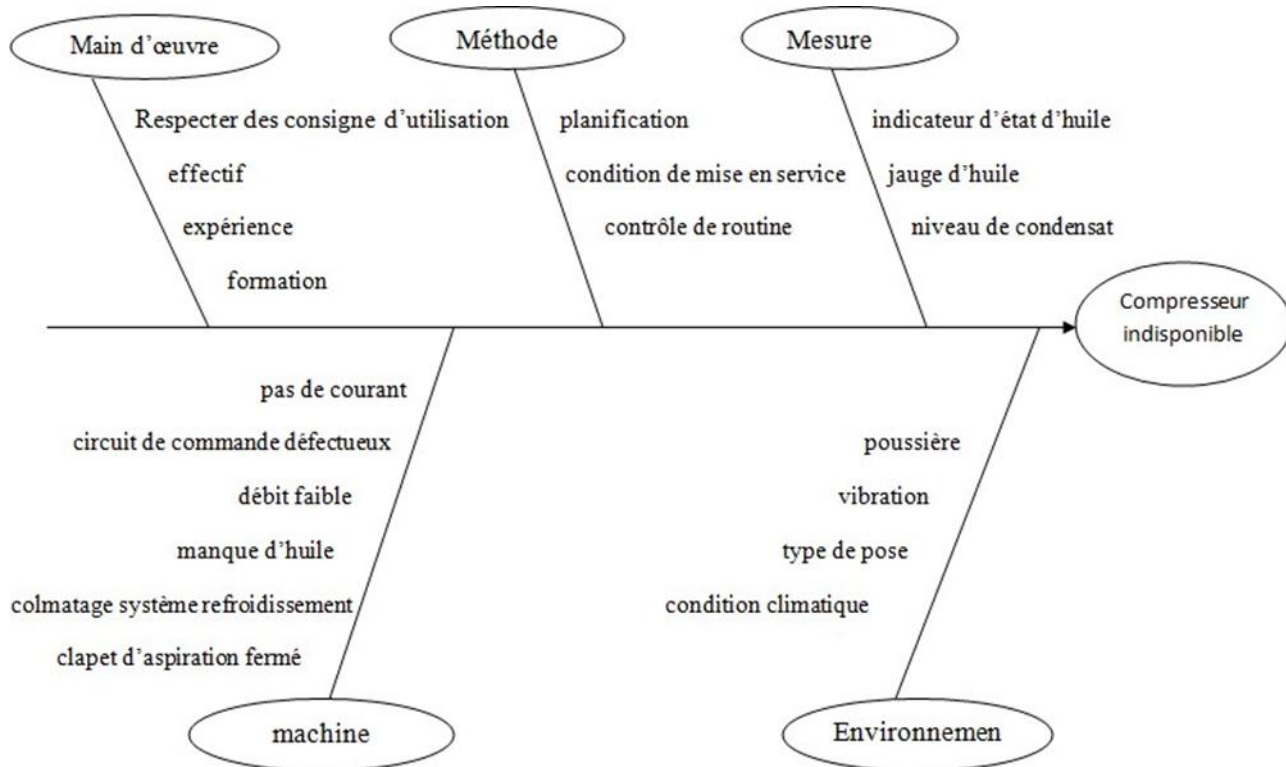
Figure(III.9) : Analyse du défaut de fonctionnement d'élément de compression

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



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

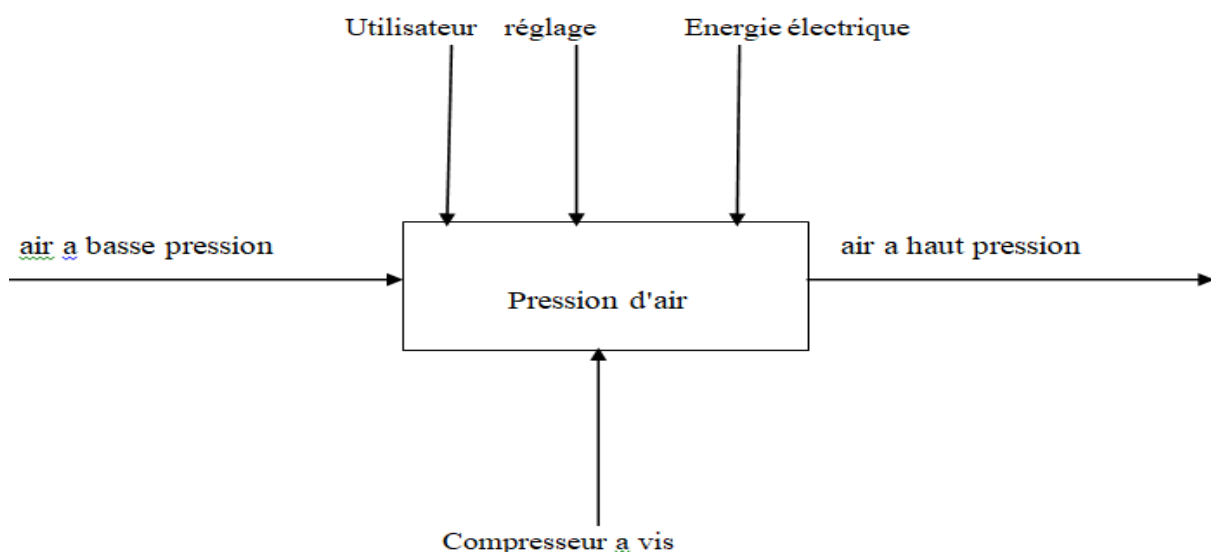
II.5.3 Analyse du défaut de fonctionnement de compresseur :



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

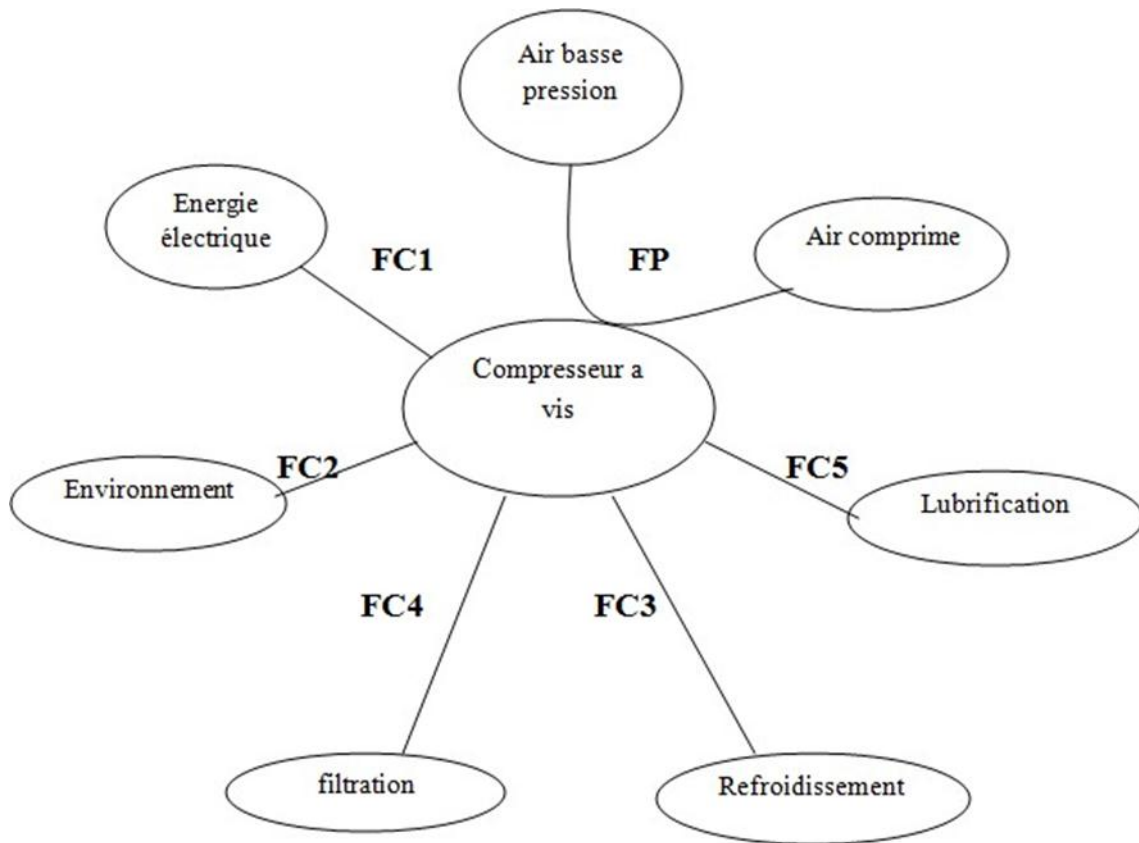
II.6 Analyse fonctionnelle

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



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

II.6.2 LA PIEUVRE :



Figure(III.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(III.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.

II.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	-Défaillancede 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 du roulement
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
Boite alimentation (Fusible16A-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(III.12) : AMDEC

II.4 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.
- Grace à 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
- $y = 0$ 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 une 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 :

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

$$\checkmark \quad \sigma = B\eta$$

Où A et B sont des paramètres

Issus de tables.

Ex : pour $\beta=0.878745$, $\gamma=0$ et

$\eta=8170.58$

$$MTBF = 1.0522 \times 8170.58 + 0 = 8597.08$$

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
0,90	1,0522	1,17	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	$\frac{1.63}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.14}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.07}{\sqrt{n}}$

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

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 défaillance

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] : site web coursehero [<https://www.coursehero.com/file/80538514/New-Microsoft-Word-Documentdocx/>]
- [2]: Dspace.univ-ouargla.dz
- [3] : gouvernement du canada site web [<https://www.rncan.gc.ca/node/types-de-compresseurs-dair-et-dispositifs-de-regulation/14974>]
- [4] : mines paristech site web [<https://direns.mines-paristech.fr/Sites/Thoip/fr/co/compresseurs-volum.html>]
- [5] : cours Exploration et Production Les Équipements Les Compresseurs Total
- [6] : Gica données de ciment
- [7] : livre Compresseurs volumétriques par Thierry DESTOOP
- [8] : cour les stratégies de la maintenance
- [9] : Cour S115-Organisation et suivi de la maintenance – CH2
- [10] : cour de stratégie de maintenance univ-Ouargla 2017
- [11] : 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
- [12] : TP Sdf n20 la loi de Weibull
- [13] : cour de la méthode ABC Gestion de production
- [14] : 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
- [15] : 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 وذلك من حيث الدور الهام الي تلعبه في المصانع بشكل عام، وهو الأمر الذي يستدعي مراقبتها بصفة مستمرة ومنتظمة من اجل ضمان الأداء الجيد واستمرارية الإنتاج. و أثبتت دراستنا أن طريقة ABC فعالة جدا في إيجاد الأسباب الرئيسية للأعطاب كما أن ل ISHIKAWA وAMDEC نتائج جيدة من حيث دراسة هاته الأعطاب و ضمان صيانة الضاغط.

كلمات مفتاحية: ABC, AMDEC, ISHIKAWA

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 il faut la surveiller régulièrement et continuellement pour assurer la performance et 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 ISHIKAWA

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 ensuring the maintenance of the compressor.

Keyword : ABC, AMDEC, ISHIKAWA