

**UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA**  
**Faculté des Sciences Appliquées**  
**Département de Génie Mécanique**

---



**Mémoire**

**MASTER ACADEMIQUE**

Domaine : Sciences Techniques

Filière : Génie mécanique

Spécialité : Maintenance Industrielle

Présenté par :

**GUERRIDA LAID**

**BELMENGA DJEMAL**

**THEME**

**L'analyse des défaillances au niveau des  
Machines industrielles par la méthodes  
arbre de défaillance (Add) .**

Soutenu le: /09/2020

**Jury:**

Mme : I. ALLOUI

Mr. KAREK.R

Mr. BOUKHATEM Mourad

Président

Encadreur

Examinateur

UKM Ouargla

UKM Ouargla

UKM Ouargla

**Année universitaire : 2019/2020**



# Remerciement

*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*

*Avant tout, nous tenons à remercier messieurs les membres du jury pour leurs collaborations durant l'examen de ce travail et leurs participations à la soutenance. Nous adressons tout particulièrement notre reconnaissance à notre promoteur **MR. KAREK RABIA** : pour la direction de cette thèse, pour ses conseils et son aide. Sans oublier les enseignants **département : Génie mécanique.** .*

*Enfin nous remercions tous ceux qui ont contribués de près ou de loin à l'élaboration de ce présent mémoire, trouvent ici l'expression de notre profondes gratitudes et respect.*



## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste mémoire :*

*A ma mère, qui m'a encouragé  
d'aller en avant et qui m'a donnée tout  
son amour pour reprendre mes études ;*

*A mon père qui m'a donné son  
soutien permanent durant toutes mes  
années d'études ;*

*A mes frères et sœurs ;*

*A mon binôme DJEMAL et tous  
mes amis sans exception ;*

*LAI D*





# *Dédicace*

*Au nom d'Allah, le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux Tout d'abord je tiens à remercier le tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience pour arriver à ce stade afin de réaliser ce travail que je dédie :*

*A ma mère, qui m'a encouragé d'aller en avant et qui m'a donnée tout son amour pour reprendre mes études ;  
A mon père qui m'a donné son soutien permanent durant toutes mes années d'études ;*

*A mes frères et sœurs ; A toute la famille.*

*en fin, je dédie ce travail à tous mes amis, mes Enseignants depuis le primaire jusqu'aux études supérieures sans exception*

**DJEMAL**

Remerciements

Dédicaces

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale.....1

## Chapitre I

I.1 Introduction.....2

I.2 Historique du compresseur : .....2

I.3 Définition : .....2

I.4 But de la compression : .....2

I.5 classification des compresseurs: .....3

I.5.1 Les compresseurs Volumétriques: .....3

I.5.2 Les compresseurs dynamiques: .....4

I.5.2.2 Les compresseurs centrifuges: .....4

I.5.2.2.1 Description et principe de fonctionnement d'un compresseur centrifuge : .....5

I.6 Présentation du turbocompresseur 103J : .....6

I.6.1 Description du turbocompresseur 103J: .....6

I.6.2 compresseur 103-JBP/HP : .....7

I.6.3 Fonctionnement de compresseur 103-JBP/HP : .....8

I.6.4 Caractéristiques techniques de compresseur HP / BP 103 j : .....9

I.6.5 Fonctions des pieces du compresseur HP/BP 103J : .....10

Conclusion : .....11

## Chapitre II

II.1 Introduction : .....12

II.2 La maintenance : .....	12
II.2.1 Définition de la maintenance : (norme NF EN 13306) .....	12
II.2.2 Historique : .....	12
II.2.3 Les objectifs de la maintenance : (norme FD X 60-000).....	12
II.2.4 Différents Types de maintenance :.....	12
II.2.4.1 La maintenance préventive.....	13
II.2.4.2 La maintenance corrective : .....	13
II.2.5 Les opérations de maintenance : .....	13
II.2.5.1 Les opérations de maintenance préventive .....	13
II.2.5.2 Les opérations de maintenance corrective :.....	13
II.2.6 Les niveaux et échelons de maintenance : .....	14
II.2.6.1 Les niveaux de maintenance :.....	14
II.2.6.2 Les échelons de maintenance : .....	15
II.3 Analyse fonctionnelle: .....	15
II.3.1 Définition : .....	15
II.3.2 La Bête à cornes : .....	15
II.3.2.1 Définition : .....	15
II.3.3 Le Diagramme Pieuvre : .....	16
II.3.3.1 Définition : .....	16
II.3.3.2 Les deux niveaux de fonctions de service .....	16
II.3.3.3 Caractérisation des fonctions de service .....	16
II.3.4 LES.A.D.T. : (Analyse Descendante et liens inter –fonctionnelle) .....	17
II.3.4.1 Définition (Principe) :.....	17
II.3.4.2 Principales règles d’élaboration : .....	17
II.4 La fiabilité R ( Reliability) : (NORME X60—500).....	18
II.4.1 Objectifs et intérêts de la fiabilité en mécanique : .....	18
II.4.2 Principales lois de probabilité utilisées en fiabilité : .....	18
II.4.2.1 Loi exponentielle : .....	18

II.4.2.2 Loi de WEI BULL :	19
II.5 Disponibilité :	22
II.5.1 Définition.....	22
II.6 Maintenabilité:	24
II.6.1 Définition .....	24
II.6.1.1 Taux de réparation $\mu(t)$ :	24
II.7 Loi de Pareto :	24
II.7.1 Origine de la méthode :	24
II.7.2 Définition et intérêt de la méthode :	25
II.7.3 But :	25
II.7.4 Méthodologie :	25
II.8 Diagramme Cause-Effets :	25
II.8.1 Origine de Diagramme Cause-Effets :	25
II.8.2 Définition :	25
II.8.3 L'intérêt de diagramme Causes-Effet :	26
II.8.4 But :	26
II.8.5 Construction du diagramme :	26
II.9 Analyse AMDEC(Analyse des Modes de Défaillances de leur Effet et de leur Criticité) :.....	27
II.9.1 Historique de l'AMDEC :	27
II.9.2 Définition de l'AMDEC :	27
II.9.3 Le but de L' AMDEC :	28
II.9.4 Types d'AMDEC :	28
II.9.5 Les avantages et l'inconvénient général de la méthode AMDEC :	28
II.9.5.1 Les avantages d'AMDEC :	28
II.9.5.2 Inconvénients d'AMDEC :	29
II.9.6.Les étapes nécessaires pour une méthode AMDEC complete :	29
II.10 L'arbre de défaillance :	30
II.10.1 Historique :	30



II.10.2 Définition : .....	30
II.10.3 Principe : .....	31
II.10.4 Construction de L'arbre : .....	32
II.10.5 Symbole graphique : .....	33
II.10.6 Résumé des règles importantes de la construction de l'arbre de défaillance : .....	35
II.10.7 Conclusion : .....	35

## Chapitre III

III.1 Introduction : .....	35
III.2 Analyse fonctionnelle .....	35
III.2.1 La Bête à cornes : .....	35
III.2.2 La pieuvre: .....	36
III.2.3 SADT: analyse descendante et liens inter-fonctionnelle .....	36
III.3 L'application Pratique des méthodes d'analyse : .....	37
III.3.1 Méthodes d'analyse prévisionnelle « ABC (Pareto) » : .....	38
III.3.1.1 La courbe d'analyse ABC : .....	38
III.3.1.2 Interprétation des résultats : .....	38
III.3.2 Diagramme causes-effet : (les causes qui augmente les temps d'arrêt) : .....	39
III.3.2.1 Analyse d'intervention Inspection et Changement l'accouplement : .....	39
III.3.2.2 Analyse d'intervention inspection et Changement rotor : .....	39
III.3.2.3 Analyse d'intervention démontage et inspection les paliers : .....	40
III.3.2.4. Analyse d'intervention Vérification et Changement Boite étanchéité : .....	40
III.3.2.5 Analyse d'intervention arrêt de compresseur : .....	41
III.3.2.6 tableau « causes-remèdes »: .....	41
III.3.3 Etude FMD (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité) : .....	43
III.3.3.1 calcul les paramètres de Wei bull : .....	43
III.3.3.2 La Courbe de Wei bull : .....	43
III.3.3.3 Test (Kolmogorov Smirnov) : .....	44

III.3.3.4 Exploitation les paramètres de WEIBULL :	45
III.3.3.4.1 Le MTBF :	45
III.3.3.4.2 La densité de probabilité en fonction de MTBF :	45
III.3.3.4.3 La fonction de répartition en fonction de MTBF :	45
III.3.3.4.4 La fiabilité en fonction de MTBF :	45
III.3.3.4.5 Le taux de défaillance en fonction de MTBF :	45
III.3.3.4.6 Calcul du temps souhaitable pour une intervention systématique :	45
III.3.3.5 Étude de modèle de Wei bull :	46
III.3.3.5.1 La fonction de la densité de probabilité :	46
III.3.3.5.1.1 Courbe de la densité de la probabilité $f(t)$ :	46
III.3.3.5.2 Fonction de répartition $F(t)$ :	46
III.3.3.5.2.1 Courbe fonction de répartition $F(t)$ :	47
III.3.3.5.2.2 Analyse de la courbe :	47
III.3.3.5.3 La fiabilité $R(t)$ :	47
III.3.3.5.3.1 Courbe de la fiabilité :	48
III.3.3.5.3.2 Analyse de la courbe :	48
III.3.3.5.4 Le taux de défaillance :	48
III.3.3.5.4.1 Courbe du taux de défaillance :	49
III.3.3.5.4.2 Analyse de la courbe :	49
III.3.3.5.5 Calcul de Maintenabilité du compresseur :	49
III.3.3.5.5.1 Courbe de maintenabilité :	50
III.3.3.5.5.2 Analyse de la courbe :	50
III.3.3.5.6 Calcul la disponibilité du compresseur :	50
III.3.3.5.6.1 Disponibilité intrinsèque au asymptotique :	50
III.3.3.5.6.2 Disponibilité instantané :	50
III.3.3.5.6.3 Courbe fonction de la disponibilité :	50
III.3.3.5.6.5 Analyse de la courbe :	51
III.3.4 Etude AMDEC :	51

III.3.4.1 Calcul la criticité :.....	51
III.3.4.2 Tableau d'AMDEC : .....	53
III.3.4.3 Résultats de l'analyse AMDEC :.....	53
III.3.5 Arbres de défaillance :.....	54
III.3.5.1 Défaillance de la sonde :.....	54
III.3.5.2 Défaillance de rotor :.....	55
III.3.5.3 Défaillance de joint d'étanchéité :.....	56
III.4 Conclusion : .....	57
Conclusion générale .....	58

## Chapitre I

Figure I.1:les types des compresseurs.....	3
Figure I.2: les différents types de compresseur volumétrique. ....	3
Figure I.3 : les types des compresseurs dynamiques . ....	4
Figure I.4 : Compresseur axial . ....	4
Figure I.5: Compresseur centrifuge . ....	5
Figure I.6 : Description et principe de fonctionnement d'un compresseur centrifuge . ....	6
Figure I.7: schéma cinématique de 103J . ....	6
Figure I.8 : COMPRESSEUR 103 J – compresseur HP/BP - turbine HP/BP . ....	7
Figure I.9 : Compresseur de gaz de synthèse 103J . ....	7
Figure ( A-B ) I.10 : COMPRESSEUR : HP / BP . ....	9

## Chapitre II

Figure II.1: Organigramme de la maintenance. ....	14
Figure II.2 : : La Bête à cornes . ....	16
Figure II.3 : Le Diagramme Pieuvre . ....	17
Figure II.4 : S.A.D.T . ....	17
Figure II.5: Courbe théorique (densité de probabilité $f(t)$ ) . ....	19
Figure II.6 : Courbe théorique (fonction de répartition) . ....	20
Figure II.7 : Courbe théorique (Fiabilité).....	20
Figure II 8: Courbe théorique (taux de défaillance).....	21
Figure II.9 : Courbe en baignoire.....	21
Figure II.10 : La densité.....	22
Figure II.11 : La densité.....	22
Figure II.12 : Disponibilité en fonction du temps $t$ . ....	23
Figure II.13 : schématise les états successifs . ....	23
Figure II.14 : Allure de la courbe de maintenabilité . ....	24
Figure II.15 : Diagramme d'Ishikawa.....	26
Figure II.16 :la démarche AMDE . ....	30
Figure II.17 : Symboles des portes . ....	31

**Chapitre III**

Figure III.1 : La Bête à cornes .....	35
Figure III.2 : La pieuvre .....	36
Figure III.3 : analyse descendante et liens inter-fonctionnelle .....	36
Figure III.4: La courbe d'analyse ABC. ....	38
Figure III.5: Analyse d'intervention Inspection et Changement l'accouplement.....	39
Figure III.6 :Analyse d'intervention inspection et Changement rotor .....	39
Figure III.7: Analyse d'intervention démontage et inspection les paliers .....	40
Figure III.8: Analyse d'intervention Vérification et Changement Boite étanchéité.....	40
Figure III.9: Analyse d'intervention arrêt de compresseur .....	41
Figure III.10: papier de Weibull en logiciel Excel.....	43
Figure III.11: La Courbe Densité De Probabilité.....	46
Figure III.12: La Courbe De Fonction Répartition .....	47
Figure III.13: La Courbe De la Fonction Fiabilité .....	48
Figure III.14: Le courbe taux de défaillance .....	49
Figure III.15: La Courbe de Maintenabilité .....	50
Figure III.16: La Courbe de disponibilité .....	51
Figure III.17: Arbre de défaillance de la sonde .....	54
Figure III.18 : Arbre de défaillance de rotor .....	55
Figure III.19: arbre de défaillance de joint d'étanchéité.....	56

## Chapitre I

Tableau I.1: Caractéristiques techniques de compresseur basse pression 103 j. ....	9
Tableau I.2 : Caractéristiques techniques de compresseur haute pression 103 j.....	10
Tableau I.3: Fonctions des pièces du compresseur HP/BP 103J. ....	10

## Chapitre II

Tableau II.1: les niveaux de maintenance .....	14
Tableau II.2: Symboles des évènements dans les arbres de défaillance. ....	34
Tableau II.3 : Symboles des portes dans les arbres de défaillance. ....	34

## Chapitre III

Tableau III.1 : Fonctions et leurs significations.....	36
Tableau III.2: Dossier historique de compresseur103j. ....	37
Tableau III.3: les analyse ABC (Pareto) .....	38
Tableau III.4 : causes- remèdes.....	42
Tableau III.5: Fonction de réparation réelle.....	43
Tableau III.6: test de Kolmogorov-Smirnov .....	44
Tableau III.7: Calcul la fonction de la densité de probabilité.....	46
Tableau III.8: Calcul la Fonction de répartition.....	46
Tableau III.9: Calcul de la fiabilité .....	47
Tableau III.10 : Calcul le taux de défaillance .....	48
Tableau III.11: La maintenabilité du compresseur .....	49
Tableau III.12: Calcul la disponibilité instantané .....	50
Tableau III.13: les indices de défaillance.....	51
Tableau III.14: indice de criticité C .....	52
Tableau III.15: Tableau d'AMDEC .....	53
Tableau III.16: Résultats de l'analyse AMDEC .....	54

### Notations utilisées

#### • Notations de temps

**TTR** : Temps de réparation.

**TBF** : Temps de fonctionnement entre deux défaillances

**MUT** : Temps de bon fonctionnement

**MDT** : **M**ean **d**own **t**ime, moyenne des temps d'arrêts.

**MTBF** : **M**ean **t**ime **b**etween **F**ailure, **m**oyenne des **t**emps de **b**on **f**onctionnement.

**MTTF** : **M**ean **T**ime **T**o **F**ailure, la moyenne des temps jusqu' à la panne.

**MTTR** : **M**ean **t**ime **t**o **R**epaire, moyenne des temps techniques de réparation.

#### • 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

$\mu$  : temps de réparation

#### • Notations de loi de fiabilité

**F** : Fiabilité

**M** : Maintenabilité

**D** : Disponibilité

#### • Notations de paramètre de weibull

$\beta$  : Paramètre de forme

$\gamma$  : Paramètre de position

$\eta$  : 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

A decorative border in a light teal color, featuring four ornate floral motifs at the corners. Each motif includes green leaves, yellow and red flowers, and a small white flower with a red center.

# **Introduction générale**



# Introduction générale

Le développement industriel croissant, avec son importance et son rôle efficace dans l'économie mondiale en général et les exigences des institutions en particulier, a rendu de plus en plus urgent d'exiger de nombreuses machines et engins qui répondent à leurs demandes sans fin pour suivre le rythme de la concurrence entre ces institutions. Parmi ces machines, par exemple, sont des compresseurs, qui ont été adoptés pour obtenir des produits de haute qualité à des prix compétitifs avec la maintenance pour améliorer les performances et les performances de ces machines comme il est nécessaire.

La maintenance des produits de production dépend en grande partie de l'état des mécanismes nécessaires au fonctionnement, de sorte que l'entretien optimal des machines en fonctionnement est essentiel pour assurer une production durable et augmenter la durée de vie de ces machines, comme l'arrêt d'un dispositif peut causer l'arrêt de la ligne entière, mais l'entretien est insuffisant lorsqu'il s'agit d'assurer la sécurité des marchandises, des personnes et de l'environnement, et nécessite des méthodes plus précises développées dans les stratégies de maintenance.

Le but de notre travail est d'apprendre des informations générales sur les compresseurs, en particulier les compresseurs 103j. En plus de comprendre la fonction de maintenance et son importance dans l'amélioration des performances de ces compresseurs et leur impact sur l'industrie dans les entreprises, et en suivant les concepts et méthodes de base de cette maintenance, les défaillances sont analysées, une décision stratégique peut être prise et une politique d'entretien efficace peut être proposée. Notre mémoire est structurée en trois chapitres, suivis d'une conclusion générale.

### **Organisation du mémoire :**

#### **Chapitre I :**

Dans ce chapitre on a présenté la théorie du compresseur en générale, on a entamé une étude du compresseur 103j.

#### **Chapitre II :**

Ce chapitre est réservé à l'étude théorique sur l'analyse fonctionnelle et l'AMDEC et quelque diagramme (Pareto, Ishikawa et ADD) et des concepts FMD en maintenance, après avoir rappelé quelques notions et généralités sur la maintenance.

#### **Chapitre III :**

Ce chapitre est exemple d'application où il expose l'application analytique de la maintenance sur notre compresseur (103j)

A decorative border in a light teal color, forming an oval shape. It features four ornate floral motifs at the corners, each with green leaves and yellow and red flowers.

# Chapitre I

## **Généralités sur les compresseurs**

### I.1 Introduction

Le présent chapitre a pour but de découvrir les différents types des compresseurs, critères de choix et de présenter les caractéristiques de construction de ces compresseurs. Un compresseur est un organe mécanique destiné à augmenter par un procédé uniquement mécanique la pression d'un gaz.

Les fluides traversant les compresseurs peuvent être de nature diverse :

- Gaz pure.
- Mélange gaze.
- Vapeur surchauffée ou saturée.

Pour obtenir un accroissement de pression des fluides il y a eu recours à l'une des deux méthodes suivantes :

- La première, de beaucoup la plus importante en quantité, l'élévation de pression est obtenue en réduisant un certain volume de gaz par action mécanique.
- Tandis que la seconde, la pression est élevée en convertissant, de façon continue, l'énergie cinétique communiquée au gaz en énergie de pression. [1]

### I.2 Historique du compresseur :

Les premiers compresseurs, qui découlèrent de la construction des machines à vapeur, étaient en disposition horizontale avec une ou deux lignes de cylindres disposées de part et d'autre d'un volant ou d'un moteur. Vers le milieu du 19<sup>e</sup> siècle, la connaissance des grands principes de la thermodynamique permit de voir l'intérêt d'une compression multi-étage, avec refroidissement intermédiaire. À la fin du 19<sup>e</sup> siècle, les constructeurs souhaitaient augmenter les vitesses de rotation afin de diminuer l'encombrement et d'augmenter les performances de ces machines. On vit alors la nécessité d'utiliser des clapets automatiques. Hanns Hörbiger, en 1895, à Vienne, rendit possible le souhait des constructeurs en leur proposant les premiers clapets automatiques. L'augmentation de la vitesse de rotation du vilebrequin obligea à repenser la composition de la structure, pour des raisons d'équilibrages des efforts. [2]

### I.3 Définition :

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 comprime (son volume diminue) au fur et à mesure de l'augmentation de pression. [3]

### I.4 But de la compression :

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

Cette opération a pour but de :

- ❖ Faire circuler un gaz dans un circuit fermé.
- ❖ Produire des conditions favorables (de pression) pour des réactions chimiques.
- ❖ Envoyer un gaz dans un pipe-line de la zone de production vers l'utilisateur.
- ❖ Obtenir de l'air comprimé pour la combustion. [2]

**I.5 classification des compresseurs :**

Les compresseurs peuvent être divisés en deux familles comme cela est montré dans la figure suivante :

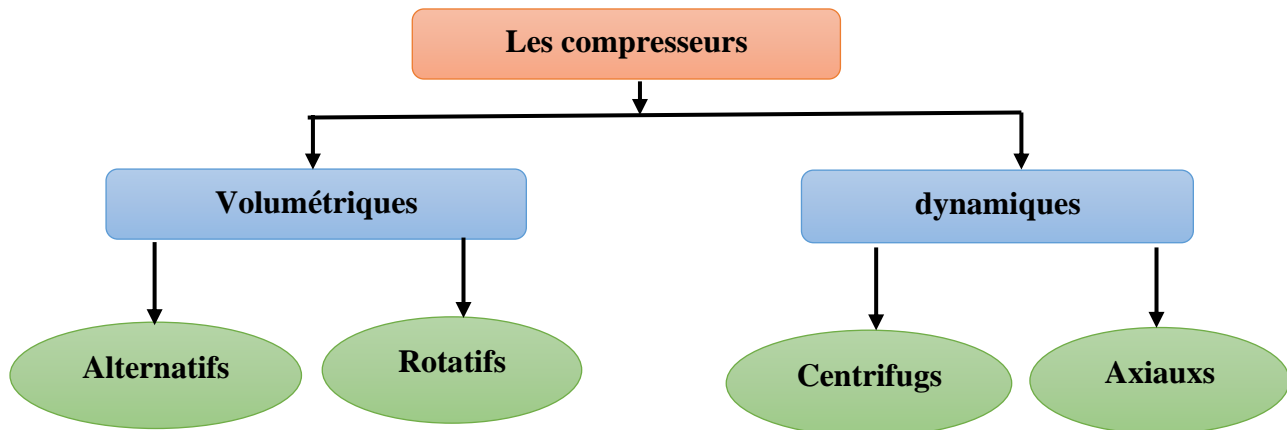


Figure I.1 : les types des compresseurs [3]

**I.5.1 Les compresseurs Volumétriques :**

Les Compresseurs volumétriques sont des machines réceptrices, ils peuvent être rotatifs (vis, palette etc.) ou bien alternatifs (à piston). La transformation du travail reçu en énergie de pression en diminuant le volume du fluide qui traverse la machine. [3]

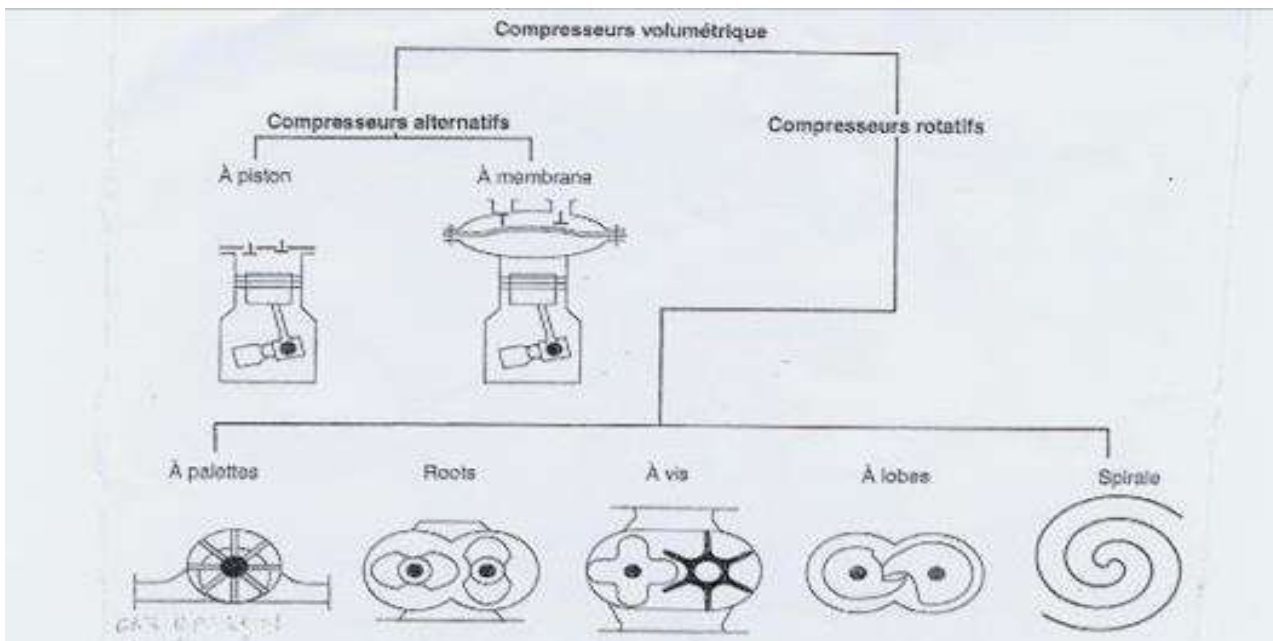


Figure I.2: les différents types de compresseur volumétrique. [3]

### I.5.2 Les compresseurs dynamiques :

Au point de vue de l'écoulement du fluide, les compresseurs dynamiques se divisent en machines axiales et centrifuges. [3]

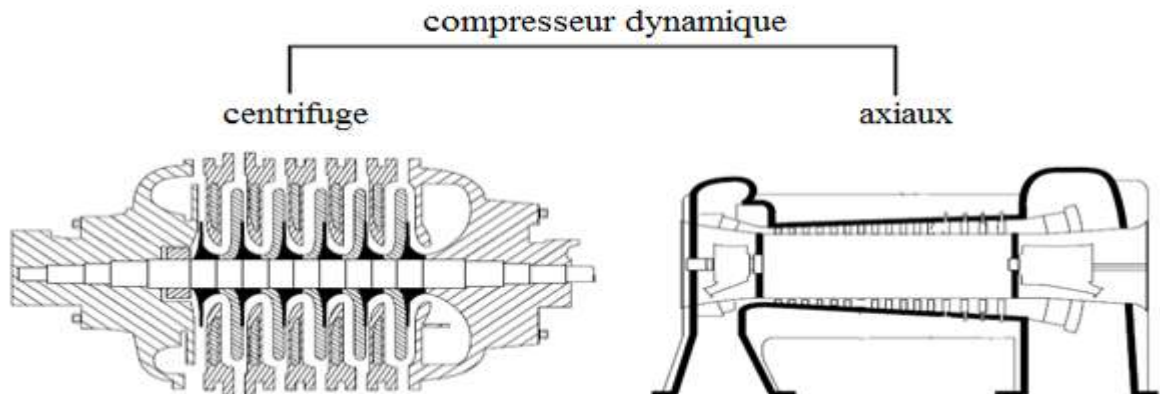


Figure I.3 : les types des compresseurs dynamiques. [3]

#### I.5.2.1 Les compresseur axiaux :

Le compresseur axial est un compresseur dont le flux d'air suit l'axe de rotation, et dont le fluide de sortie a un mouvement radial. Il génère un flux continu d'air comprimé et fournit un rendement élevé pour une masse volumique donnée et une section donnée du compresseur. Il est nécessaire d'avoir plusieurs étages de pales pour obtenir des pressions élevées et des taux de compression équivalents à ceux d'un compresseur centrifuge. [2]

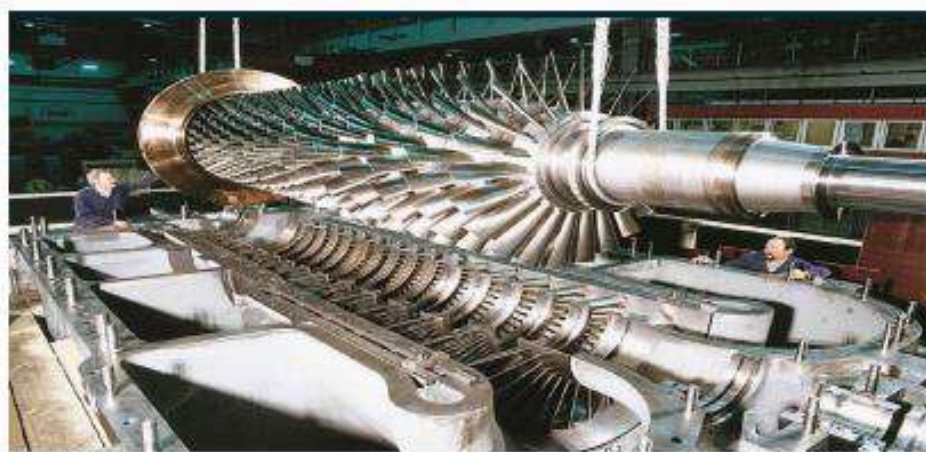
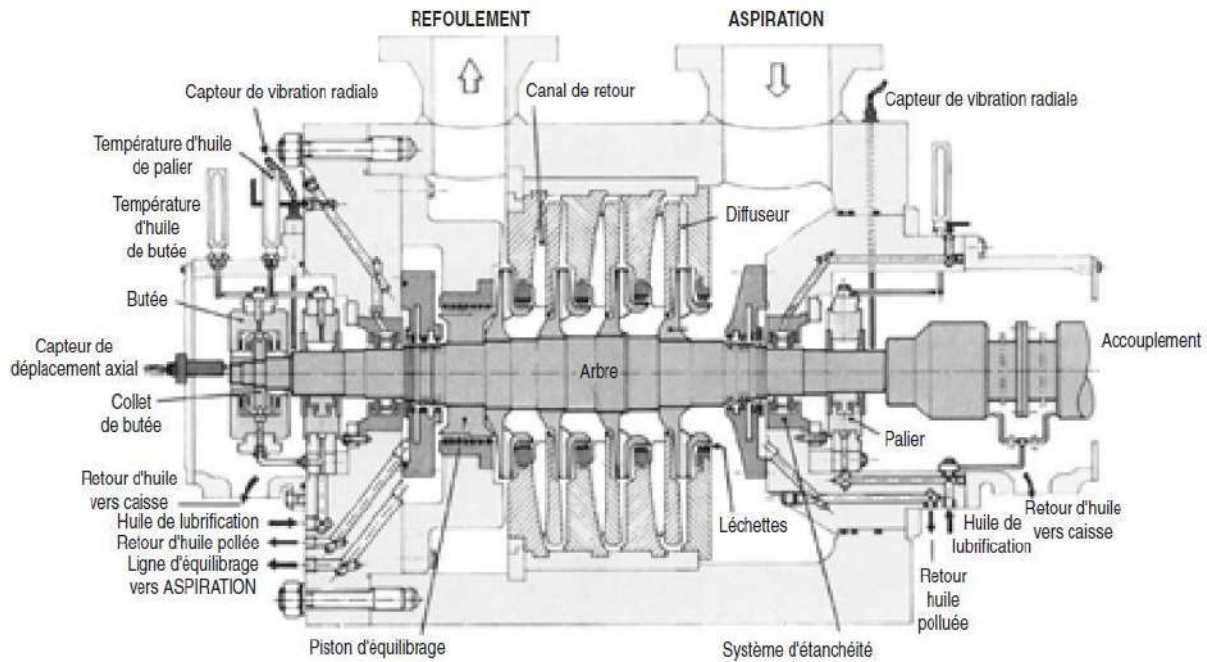


Figure I.4 : Compresseur axial. [5]

#### I.5.2.2 Les compresseurs centrifuges :

Ces compresseurs sont très utilisés en raffinage et dans l'industrie chimique et pétrochimique, ils sont très compacts et peuvent développer des puissances importantes comparées à leur taille dans leur plage de fonctionnement, ils n'engendrent pas de pulsation de pression au niveau des tuyauteries, ces qualités permettent des installations légères, pour l'environnement de ces compresseurs.. [2]



**Figure I.5:** Compresseur centrifuge

#### I.5.2.2.1 Description et principe de fonctionnement d'un compresseur centrifuge :

Le compresseur centrifuge est une machine dynamique à écoulement continu de fluide, les roues solidaires à l'arbre fournissent de l'énergie à ce dernier.

Une partie de cette énergie est transformée en une augmentation de pression directement dans les roues, le reste dans le stator c'est-à-dire dans les diffuseurs.

Ce type de machine est constitué par un corps extérieur contenant la partie du stator dite ensemble des diaphragmes où est introduit un rotor formé par l'arbre, les roues, le piston d'équilibrage et le collet du palier de butée.

Le rotor entraîné par la machine motrice, tourne sur les paliers porteurs et guidé dans sa position axiale le palier de butée.

Des dispositifs d'étanchéité à labyrinthe et des étanchéités à film d'huile d'extrémité agissant sur le rotor.

Le gaz est aspiré par le compresseur à travers la bride d'aspiration, entre dans une chambre annulaire (volute d'aspiration) et converge uniformément vers les centres de toutes les directions radiales dans la chambre annulaire du côté opposé par rapport à la bride d'aspiration, il existe une ailette pour éviter la formation de tourbillon de gaz.

Le gaz entre dans le diaphragme d'aspiration et donc aspiré par la première roue.

Ensuite d'un mouvement spiral le gaz parcourt une chambre circulaire fermée d'un diffuseur où la vitesse diminue et donc la pression augmente (dans le cas d'un mouvement des fluides dans une conduite).

Puis le gaz transite par canal de retour, ensuite le gaz est aspiré par la deuxième roue, et pour chaque roue le même parcours se répète.

La dernière roue en voie le gaz dans un diffuseur qui mène à une chambre annulaire appelée volute de refoulement.

La volute de refoulement, est la chambre annulaire collectant le gaz du périphérique des diffuseurs et le dirigeant vers la bride de refoulement.

Après cette dernière, il y'a une autre ailette qui empêche le gaz de continuer à tourner dans la volute et qui l'envoie à la bride de refoulement. [3]

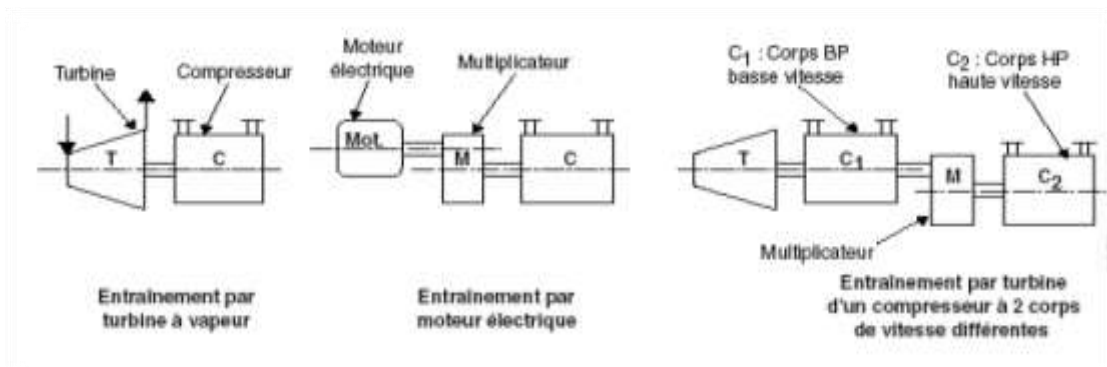


Figure I.6 : Description et principe de fonctionnement d'un compresseur centrifuge [3]

## I.6 Présentation du turbocompresseur 103J :

### I.6.1 Description du turbocompresseur 103J :

Le compresseur de gaz de synthèse **103J** est composé de deux unités : Une compresseur basse pression **-BP-** à joint vertical comporte 09 étages de compression entraîné directement par la turbine.

Un compresseur haute pression **-HP-** à joint vertical comporte également 08 étages de compression entraîné par le compresseur **-BP-**. [3]

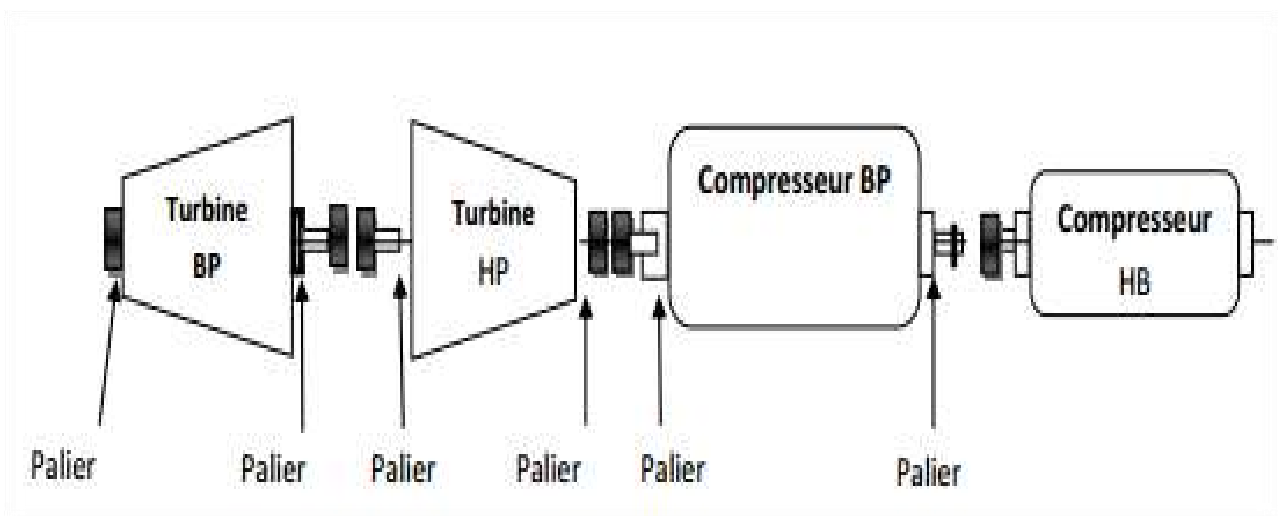


Figure I.7: schéma cinématique de 103J [3]



Figure I.8 : COMPRESSEUR 103 J – compresseur HP/BP - turbine HP/BP[3]

### I.6.2 compresseur 103-JBP/HP :

Le gaz de synthèse purifiée venant du séparateur 104F, est introduit dans basse pression du compresseur gaz de synthèse 103-J à 24,6 bars et 38°C ou il est comprimé jusqu'à 63bars et 187°C. La chaleur crée par la compression est éliminée en faisant passer la gaz comprimé dans les échangeurs 136°C, par la charge du méthaniser, dans le réfrigérant intermédiaire 116°C, par la suite dans le réfrigérant intermédiaire du compresseur 129°C, et le gaz de synthèse.

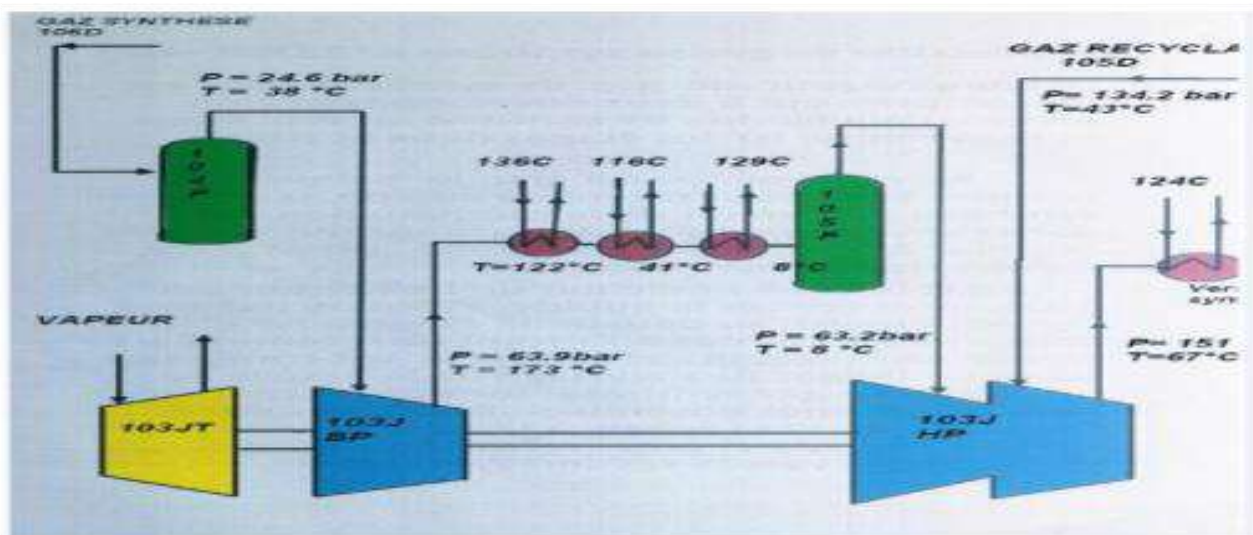


Figure I.9 : Compresseur de gaz de synthèse 103J. [4]

Le gaz refroidi à 8°C passe d'abord par le séparateur 105F, avant d'être aspiré par le deuxième étage du compresseur avec le gaz recyclé venant de la réaction de synthèse de l'ammoniac à une pression de 134 bars et une température de 42°C. Le mélange de gaz refoulés du deuxième étage à 150 bars et une température de 74°C est refroidi à l'eau jusqu'à 35°C dans l'échangeur 124°C, puis il est divisé en deux courants :



- ❖ Un courant est refroidi à  $-9^{\circ}\text{C}$  dans l'échangeur  $120^{\circ}\text{C}$ , et par le gaz qui sort du ballon de séparation  $106\text{F}$ , à  $23^{\circ}\text{C}$ .
- ❖ L'autre courant est refroidi jusqu'à  $19^{\circ}\text{C}$  dans l'échangeur  $117^{\circ}\text{C}$ , par échange avec l'ammoniac à  $13^{\circ}\text{C}$  puis jusqu'à  $-2^{\circ}\text{C}$  dans l'échangeur  $118^{\circ}\text{C}$ , par échange avec l'ammoniac à  $-7^{\circ}\text{C}$ .

Le mélange des deux courants qui donne une température de  $-6^{\circ}\text{C}$  est soumis à un dernier refroidissement à  $-23^{\circ}\text{C}$  dans l'échangeur  $119\text{C}$ , par échange avec l'ammoniac à  $-33^{\circ}\text{C}$ . [4]

### I.6.3 Fonctionnement de compresseur 103-JBP/HP :

L'air s'écoule par des tuyères d'aspiration vers le premier étage de la basse pression à  $25.6$  bars et  $38^{\circ}\text{C}$  est comprimé jusqu'à  $64.9$  bars et  $173^{\circ}\text{C}$ , ce gaz passe ensuite par les réfrigérant, la température diminue jusqu'à  $8^{\circ}\text{C}$ .

La sortie du premier étage et l'entrée du deuxième étage sont liées par une petite tuyère qui sert à équilibrer la pression.

Le gaz comprimé est parcouru vers le réfrigérant pour diminuer sa température, et réduire le besoin en puissance du compresseur, après la réfrigération, le gaz s'écoule vers l'entrée du deuxième étage,

il se comprime encore avec un gaz de recyclage de la boucle de synthèse, et il doit sortir du deuxième étage avec une température et une pression de ( $T= 70^{\circ}\text{C}$ ,  $P=150$  bars).[3]



A



B

Figure (A-B) I.10 : COMPRESSEUR : HP / BP [3]

I.6.4 Caractéristiques techniques de compresseur HP / BP 103 j :

Éléments	Spécifications et valeurs
Nature fluide	Gaz
Date de fabrication	1977
Date de mise en service	1984
Poids	8717Kg
Nombre roues	9
Pression d'entrée	25.6 bars
Température d'entrée	38°C
Température refoulement	173.4 °C
Débit	5890m3/h
Vitesse maxi	11000tr/mn

Tableau I.1: Caractéristiques techniques de compresseur basse pression 103 j. [6]

Éléments	Spécifications et valeurs
Nature fluide	Gaz
Date de fabrication	1977
Date de mise en service	1984
Poids	10800 Kg
Nombre roues	8
Pression d'entrée 2ieme/3ieme sections	64.2/134.8 bar abs
Pression refoulement 2ieme/3ieme sections	134.8/150.9 bars abs
Température d'entrée 2ieme/3ieme sections	8/52°C
Température de refoulement 2ieme/3ieme sections	115.3/66.2°C
Débit d'entrée	2107/6262 m3/h
Vitesse maxi	11000 tr/mn
Température maxi de fonctionnement	180°C

**Tableau I.2 :** Caractéristiques techniques de compresseur haute pression 103 j. [6]

### I.6.5 Fonctions des pièces du compresseur HP/BP 103J :

Chacune des pièces ci-dessus peut avoir une ou plusieurs fonctions que nous regroupons dans le tableau suivant.[6]

Pieces	Fonctions
Bâti	Supporte l'ensemble des organes mécaniques de la machine
Vilebrequin	Assure la conversion du le mouvement rectiligne alternatif des bielles en mouvement circulaire
Bielle	Assure la liaison entre l'excentrique ou maneton et le piston
Ecrous	Assurent la fixation de la crosse et la tige
Bague	Assure l'étanchéité du Gaz
Glissière	Assure le guidage de piston
Crosse de piston	Supporte le piston
Tige de piston	Assure le déplacement du piston
Chemise / cylinder	Cadre le coulissage du piston.
Segments	Assurent l'étanchéité du piston dans le cylinder
Piston	Assure la compression
Calfat	Assure l'étanchéité du gaz
Fonds inférieur	Renferme le compresseur
Joint d'étanchéité	Assure l'étanchéité et évite les fuites
Goujons	Assure la fixation des pieces
Sonde	Capte les vibrations

**Tableau I.3:** Fonctions des pièces du compresseur HP/BP 103J. [6]

### Conclusion :

Le compresseur en générale, peut être imposée par la nécessité technique de déplacer une certaine quantité de gaz d'un système à une certaine pression, vers un autre système à une autre pression plus élevée. Le compresseur centrifuge assuré du grand débit continu et un rapport de compresseur très élevée selon le besoin de débit et de pression de refoulement.

A decorative border in a light teal color, featuring four ornate floral motifs at the corners. Each motif consists of a green vine with yellow and red flowers, set against a light blue background.

# Chapitre II

## **Généralités sur la maintenance**

## II.1 Introduction :

La maintenance s'inscrit parmi les contraintes que rencontre tout exploitant d'une installation industrielle. Plus généralement, une installation de production nécessitant un ensemble de moyens matériels et humains n'est en mesure d'assurer le service qu'on lui demande qu'après avoir surmonté diverses contraintes, dont la maintenance des équipements de production utilisés. Construire une usine ou un atelier ne sert à rien en l'absence de production significative, ou de personnel qualifié, ou d'un système d'organisation permettant le maintien en état des installations.

La maintenance joue un rôle de plus en plus important dans la productivité de l'entreprise. La maintenance n'a plus pour seule vocation d'assurer le bon fonctionnement. [2]

## 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. [7]

### II.2.2 Historique :

Jusqu'à la fin des années 70, l'entretien était souvent le parent pauvre des services de l'entreprise. Les dirigeants le considéraient uniquement comme un poste de dépenses et ne pensaient qu'à réduire ses coûts. L'entretien se contentait d'intervenir sur un système défaillant pour relancer la production et effectuait les opérations courantes préconisées par le constructeur. Il n'y avait donc pas de prise en compte des caractéristiques spécifiques et des conditions de fonctionnement (cadence, ancienneté, température ambiante, etc.) des matériels. On pouvait donc être conduit à effectuer (sans évaluation a priori ou a posteriori) trop ou pas assez d'entretien. Les choses ont évolué : la part du coût machine dans le coût de production ne cesse d'augmenter aux dépens de celui de la main-d'œuvre. Ceci est dû à l'automatisation presque systématique des procédés, et à leurs coûts croissants. Ainsi les arrêts inopinés coûtent cher. Dans ces conditions, la fonction maintenance est devenue stratégique. Entretenir, c'est subir alors que maintenir, c'est prévoir et anticiper. Les coûts directs de maintenance sont devenus secondaires voire négligeables par rapport aux coûts indirects (non production, conséquences de la panne). Pour le gestionnaire, la disponibilité des machines est devenue l'indicateur clé. Parallèlement à cette évolution, la maintenance s'est dotée de méthodes de gestion, d'organisation, d'aide au diagnostic des pannes, de stratégies. Des techniques d'auscultation sophistiquées se sont développées (analyse vibratoire, analyse des huiles, thermographie IR, etc.). La qualification des techniciens s'est accrue. La gestion de la maintenance requiert aujourd'hui une spécialisation professionnelle (STS, IUT, écoles d'ingénieurs). [11]

### 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. [7]

## II.2.4 Différents Types de maintenance:

### II.2.4.1 La maintenance préventive :

C'est la maintenance exécutée à des intervalles déterminés ou selon des critères prescrits et Destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien.

On peut subdiviser la maintenance préventive en Trois types :

- **La maintenance préventive systématique** : 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.
- **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 et intégrant les actions qui en découlent.
- **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. [8]

### II.2.4.2 La maintenance corrective :

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

Il Y a deux type :

- **Maintenance palliative** : caractérise les actions de dépannage : remise en état Provisoire.
- **Maintenance curative** : caractérise les actions de réparation au sens de « guérir ». [8]

## II.2.5 Les opérations de maintenance :

Ces opérations trouvent leur définition dans la norme NF X 60-010 et NF EN 13306).

### II.2.5.1 Les opérations de maintenance préventive :

- **Les inspections** : Ce sont des activités de surveillance consistant à relever périodiquement des anomalies et exécuter des réglages simples ne nécessitant pas d'outillage spécifique ni d'arrêt de l'outil de production ou des équipements.
- **Les visites** : Ce sont des opérations de surveillance qui dans le cadre de la maintenance préventive systématique, s'opèrent selon une périodicité prédéterminée.
- **Les contrôles** : Ils correspondent à des vérifications de conformité par rapport à des données préétablies suivis d'un jugement. [2]

### II.2.5.2 Les opérations de maintenance corrective :

- **Le dépannage** : C'est une action ou opération de maintenance corrective sur un équipement en panne en vue la remettre en état de fonctionnement.
- **La réparation** : C'est une intervention définitive et limitée de maintenance corrective après panne ou défaillance. L'équipement réparé doit assurer les performances pour lesquelles il a été conçu. [2]

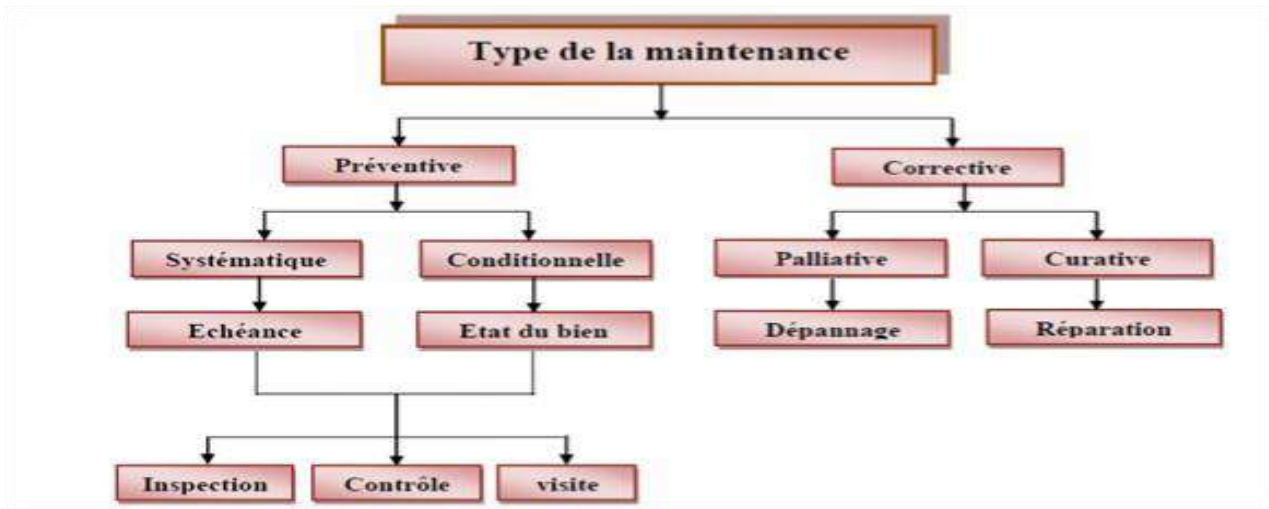


Figure II.1: Organigramme de la maintenance. [8]

II.2.6 Les niveaux et échelons de maintenance :

II.2.6.1 Les niveaux de maintenance :

La maintenance et l’exploitation d’un bien s’exercent à travers de nombreuses opérations, parfois répétitives, parfois occasionnelles, communément définies jusqu’alors en 5 niveaux de maintenance , Le tableau suivante définit les cinq niveaux de maintenance. :

Niveau	Caractéristique	Personnel d’intervention	Moyens
1	Réglages simples sans démontage, rondes et surveillance pendant la marche.	Exploitant sur place	Outillage léger défini dans les instructions d’utilisation.
2	Dépannage par échange standard d’éléments prévus à cet effet et opérations mineures.	Technicien habilité, sur place.	Idem, plus pièce de rechange trouvées à proximité sans délai.
3	Identification et diagnostic de pannes, réparation ou remplacement d’éléments fonctionnels.	Technicien spécialisé, sur place ou en local de maintenance.	Outillage prévu plus appareils de mesure, banc d’essai, contrôle,...etc.
4	Travaux de maintenance corrective ou préventive nécessitant des démontages importants.	Equipe encadrée par un technicien spécialisé ou en atelier central.	Outillage général plus spécialisé, matériel d’essais, de contrôle, ...etc.
5	Rénovation, reconstruction, modifications importantes faisant appel à une main d’œuvre qualifiée	Equipe encadrée par un technicien spécialisé ou en atelier central.	Moyens proches de la fabrication par le constructeur.

Tableau II.1: les niveaux de maintenance [2]



### II.2.6.2 Les échelons de maintenance :

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. [7]

## II.3 Analyse fonctionnelle:

### II.3.1 Définition :

l'analyse fonctionnelle est une démarche qui consiste à analyser les fonctions remplies par le système compte tenu du but à atteindre.

### II.3.2 La Bête à cornes :

#### II.3.2.1 Définition :

La bête à cornes est un outil graphique d'analyse du besoin qui permet de répondre à trois questions :

- A qui ou quoi le produit rend-il service ?
- Sur qui ou quoi agit-il ?
- Dans quel but? [9]

Le but est toujours formulé de la même façon : le produit permet à l'utilisateur d'agir sur la matière d'œuvre.

Les réponses à ces questions sont regroupées dans le graphe des prestations appelé aussi « bête à cornes ». [9]



Figure II.2 : La Bête à cornes [10]

### II.3.3 Le Diagramme Pieuvre :

#### II.3.3.1 Définition :

Le Diagramme Pieuvre est un outil d'analyse du besoin représentant graphiquement les interactions d'un produit/service avec son environnement. [9]

Le Diagramme Pieuvre met en évidence les relations entre les différents Eléments du Milieu Extérieur (EME) et le produit/service au travers de fonctions :

- **Fonction principale (FP)** : relie deux EME grâce au produit/service.
- **Fonction contrainte (FC)** : traduit une adaptation du produit à un EME. [9]

#### II.3.3.2 Les deux niveaux de fonctions de service :

- **Fonction Principale (ou d'usage)** : elle met en relation deux éléments du milieu environnant par l'intermédiaire du système.
- **Fonction Contrainte (ou d'adaptation)** : elle exprime l'adaptation du système à son environnement en mettant en relation un élément du milieu environnant et le système. [9]

#### II.3.3.3 Caractérisation des fonctions de service :(critères, niveau et flexibilité)

La seule verbalisation ne suffit pas, le degré de satisfaction attendu du client doit être quantifié.

- On définit un ou plusieurs **critères** associés à des grandeurs physiques mesurables.
- On précise pour chaque critère une valeur correspondant au **niveau** attendu de satisfaction du besoin.
- On peut admettre un écart entre le niveau qui sera réellement atteint et le niveau attendu. Pour cela on précise une **flexibilité** qui correspond à la limite d'acceptation. [9]

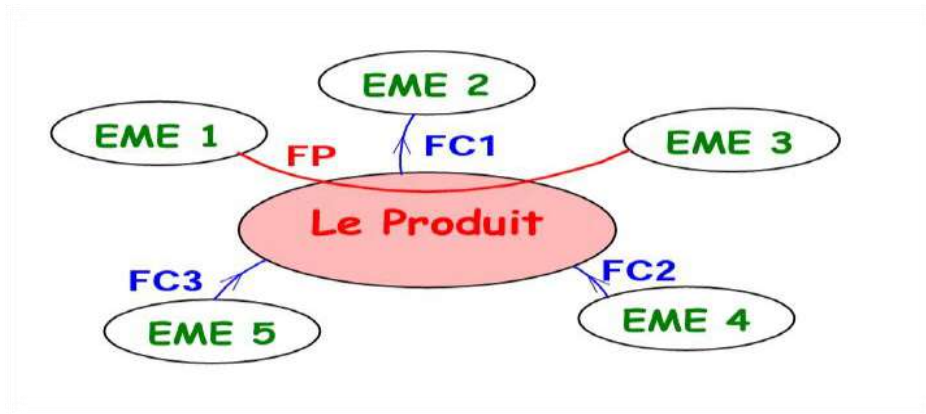


Figure II.3 : Le Diagramme Pieuvre. [10]

**II.3.4 LES.A.D.T. : (Analyse Descendante et liens inter –fonctionnelle) :**

**II.3.4.1 Définition (Principe) :**

Le méthode S.A.D.T. (Structured Analysis Design Technic) est une méthode d’analyse qui décrit l’ensemble des fonctions d’un système ou produit selon une voie hiérarchique, en **allant** du plus général vers le plus détaillé. Elle est particulièrement bien adaptée aux systèmes automatisés.

La représentation s’effectue à partir de « boîtes » modélisant chacune une fonction ainsi que de flèches indiquant les relations entre ces boîtes. Chaque boîte peut être analysée en détail à un niveau inférieur. [13]

Le niveau le plus élevé est le niveau A-0 (« A moins zéro »). Il donne la globalité des fonctions du système et définit la frontière d’isolement avec le milieu extérieur. Les niveaux suivant se nomment A0 puis A3, A4... [13]

**II.3.4.2 Principales règles d’élaboration :**

- Toute donnée entrant dans une boîte est une donnée nécessaire à la réalisation de la fonction de cette boîte ;
- Les données d’entrée sont « transformées » en données de sortie par la fonction exprimée par la boîte ;
- Chaque donnée (symbolisée par une flèche) entrant ou sortant d’une boîte d’un niveau donné doit se retrouver sur le diagramme de niveau inférieur. [13]

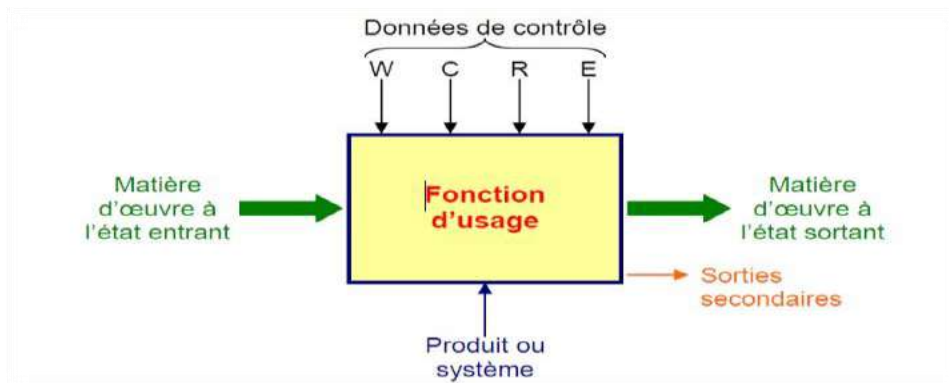


Figure II.4 : S.A.D.T [9]

- **W** : contrôle (Contrainte) d'alimentation en énergie
- **C** : contrôle (Contrainte) de configuration
- **R** : contrôle (Contrainte) de réglage
- **E** : contrôle (Contrainte) d'exploitation . [13]

#### II.4 La fiabilité R ( Reliability) : (NORME X60—500)

C'est l'aptitude (la probabilité) d'une entité à accomplir une fonction requise pendant un intervalle de temps donné, dans des conditions données. [15]

##### II.4.1 Objectifs et intérêts de la fiabilité en mécanique :

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

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

L'analyse de la fiabilité dans le domaine de la mécanique est un outil très important pour caractériser le comportement du produit dans les différentes phases de vie, mesurer l'impact des modifications de conception sur l'intégrité du produit, qualifier un nouveau produit et améliorer ses performances tout au long de sa mission.[16]

##### II.4.2 Principales lois de probabilité utilisées en fiabilité :

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

- ❖ **La loi exponentielle.**
- ❖ **La loi de WEIBULL.**
- ❖ **La loi normale.**
- ❖ **La loi log-normale (ou loi de GALTON).**
- ❖ **La loi binomiale. [9]**

###### II.4.2.1 Loi exponentielle :

C'est une loi qui ne dépend que d'un seul paramètre (le taux de défaillance,  $\lambda$ ) elle s'applique d'une manière générale aux matériels qui subissent des défaillances brutales, ou à des systèmes complexes composés de plusieurs éléments dont les lois de fiabilité élémentaires sont différentes. [17]

Durant la vie utile, le taux de défaillance  $\lambda$  est constant.

◆ La fiabilité est solution de :  $R(t) = \exp(-\lambda t)$  (II.1)

◆ Densité de probabilité :  $f(t) = \lambda \exp(-\lambda t)$  (II.2)

◆ Fonction de répartition :  $F(t) = 1 - \exp(-\lambda t)$  (II.3)

**II.4.2.2 Loi de WEIBULL :**

C'est la plus populaire des lois, utilisées dans plusieurs domaines (électronique, mécanique,...). Elle permet de modéliser en particulier de nombreuses situations d'usure de matériel. Elle permet de caractériser le comportement du système dans les trois phases de vie, période de jeunesse, période de vie utile et période d'usure ou vieillissement. Dans sa forme la plus générale, la distribution de weibull dépend des trois paramètres suivants :  $\beta$ ,  $\gamma$  et  $\eta$ . [2]

La loi de Weibull est une loi continue à trois paramètres :

- ❖ Le paramètre de position  $\gamma$  qui représente le décalage pouvant exister entre le début de l'observation (date à laquelle on commence à observer un échantillon) et le début du processus que l'on observe (date à laquelle s'est manifesté pour la première fois le processus observé).
- ❖ Le paramètre d'échelle  $\eta$  qui, comme son nom l'indique, nous renseigne sur l'étendue de la distribution.
- ❖ Le paramètre de forme  $\beta$  qui est associé à la cinétique du processus observé. [17]

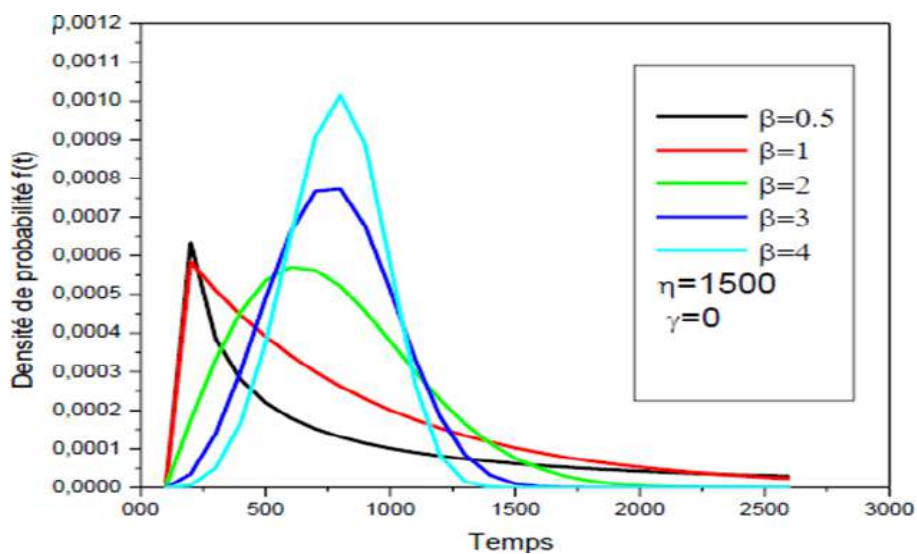
a) **La densité de probabilité La densité de probabilité d'une loi de weibull a pour expression :**

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad \text{avec } t \geq \gamma \quad \text{(II.4)}$$

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

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

$\gamma$  est le paramètre de position ( $-\infty \leq \gamma \leq +\infty$ ). [17]



**Figure II.5:** Courbe théorique (densité de probabilité  $f(t)$ ). [9]

b) La fonction de répartition La fonction de répartition s'écrit :

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

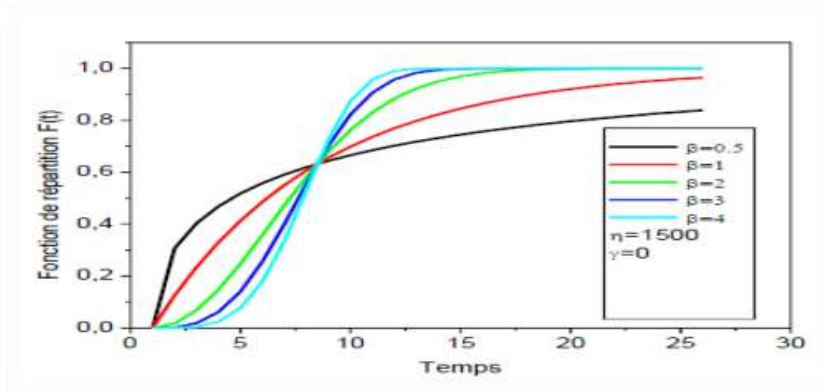


Figure II.6 : Courbe théorique (fonction de répartition). [9]

c) La fonction de fiabilité R(t) : la fonction de fiabilité s'écrit

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \tag{II.6}$$

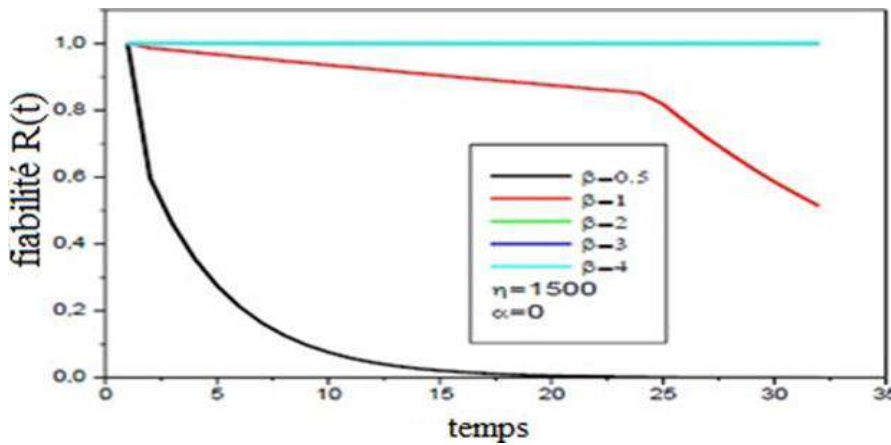


Figure II.7 : Courbe théorique (Fiabilité). [9]

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

Le taux de défaillance donné par :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1-F(t)} = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \cdot \frac{1}{e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}} \Rightarrow \lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \tag{II.7}$$

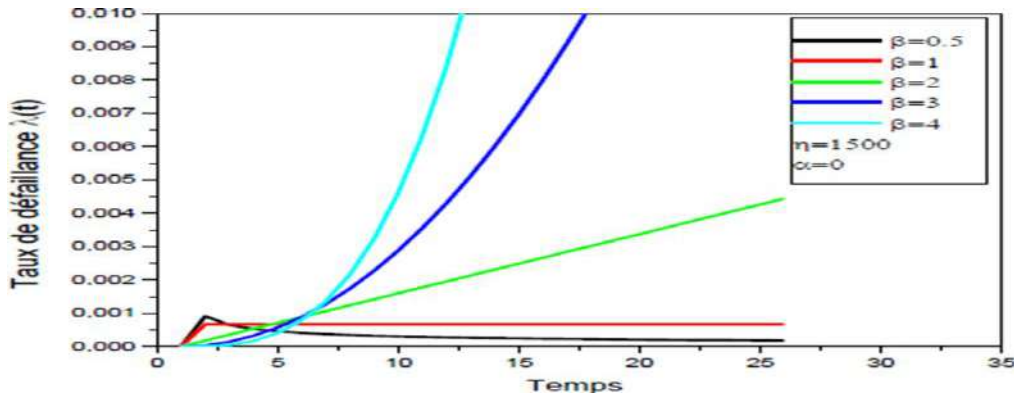


Figure II 8: Courbe théorique (taux de défaillance). [9]

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

L'expérience montre que pour la plupart des composants, le taux de défaillance suit une courbe en baignoire représenté sur la figure suivante : [2]

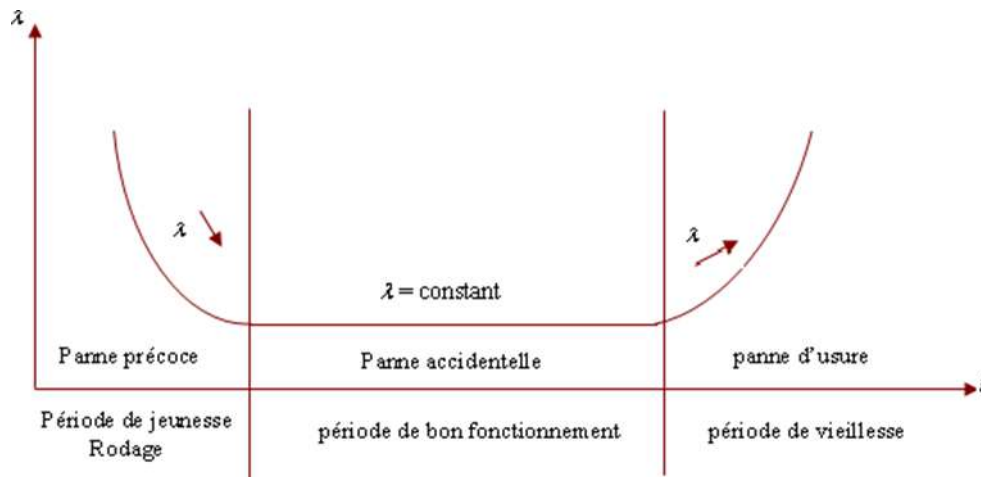


Figure II.9 : Courbe en baignoire. [2]

❖ Paramètre de forme  $\beta$  :

Paramètre de forme bêta ( $\beta$ )  $>0$  sans dimension : Ce paramètre donne des indications sur le mode des défaillances et sur l'évolution du taux de défaillances dans le temps.

- 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. [9]

❖ Paramètre de forme  $\gamma$  :

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

- $\gamma > 0$  : 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. [9]

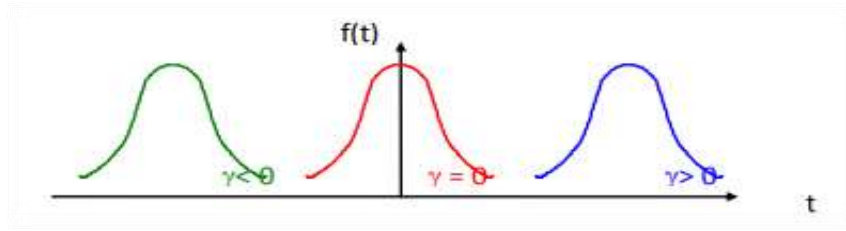


Figure II.10 : La densité. [9]

**Remarque :**

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

$$\lambda = \frac{1}{\eta} = \frac{1}{MTBF} \tag{II.8}$$

❖ **Paramètre de forme  $\eta$  :**

Paramètre d'échelle (Netta ( $\eta$ ) > 0) qui s'exprime dans l'unité de temps : Ce paramètre permet d'utiliser le papier d'Allan Plait quel que soit l'ordre de grandeur de t. Il n'a donc pas à être interprété. [9]

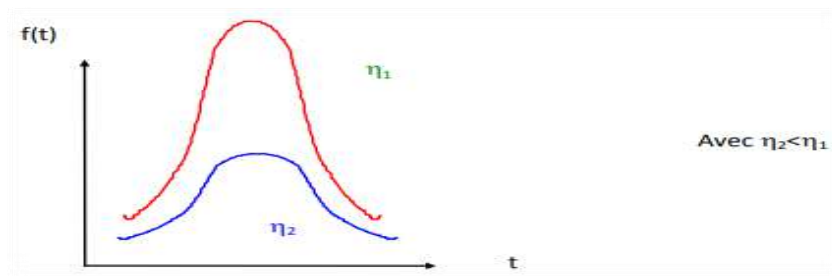


Figure II.11 : La densité. [9]

**II.5 Disponibilité :**

**II.5.1 Définition:** La norme NF EN 13306 définit la disponibilité comme :

« L'aptitude d'une entité à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou pendant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires de maintenance soit assurée ». [15]

La probabilité associée  $A(t)$  à l'instant t est aussi appelée disponibilité et s'exprime par :

$$A(t) = P(E \text{ non défaillance à l'instant } t) \tag{II.9}$$

L'aptitude contraire est appelée indisponibilité et est définie par :

$$\bar{A} = 1 - A(t) \tag{II.10}$$



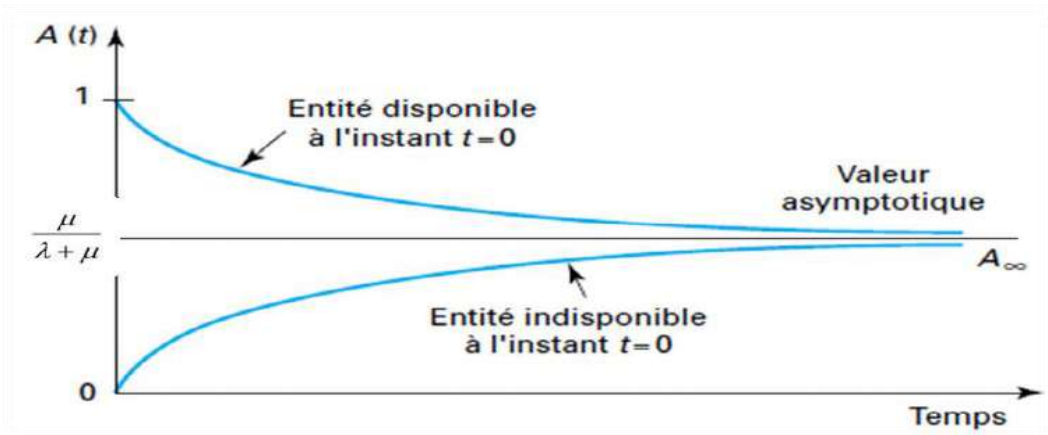


Figure II.12 : Disponibilité en fonction du temps t. [15]

Les grandeurs moyennes associées à la disponibilité les plus courantes :

- MUT (**mean up time**) : Durée moyenne de fonctionnement après la réparation et la défaillance suivante .
- MDT (**mean down time**) : durée moyenne entre une défaillance et la remise en état suivante

**Remarque**

- MDT Ce temps inclut : les temps techniques de détection, localisation et réparation de la panne, mais aussi les délais administratifs de gestion et de transport.
- Le MDT est donc supérieur au MTTR, mais en général faible devant le MUT, c'est pourquoi la différence entre MTTF et MTBF n'est pas très significative.

MTBF la durée moyenne entre défaillance (**mean time between failure**) :

Durée moyenne entre deux défaillances consécutives de l'entité. [15]

$$MTBF = MUT + MDT \tag{II.11}$$

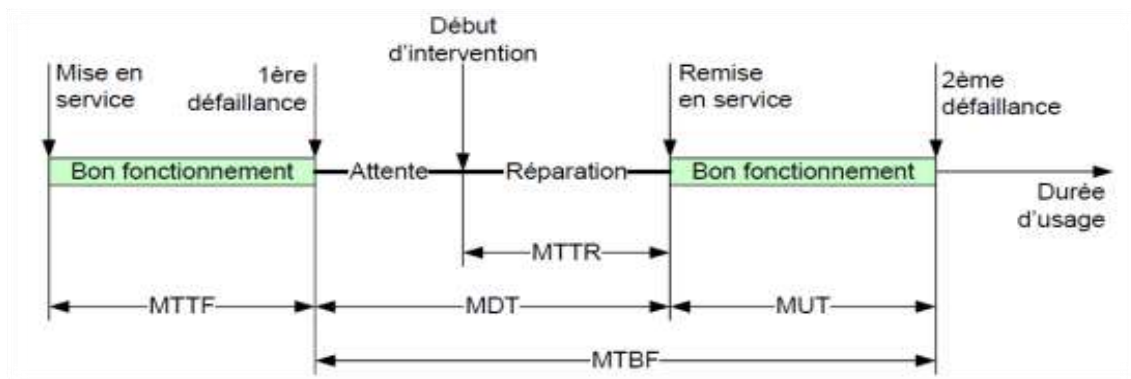


Figure II.13 : schématise les états successifs. [9]

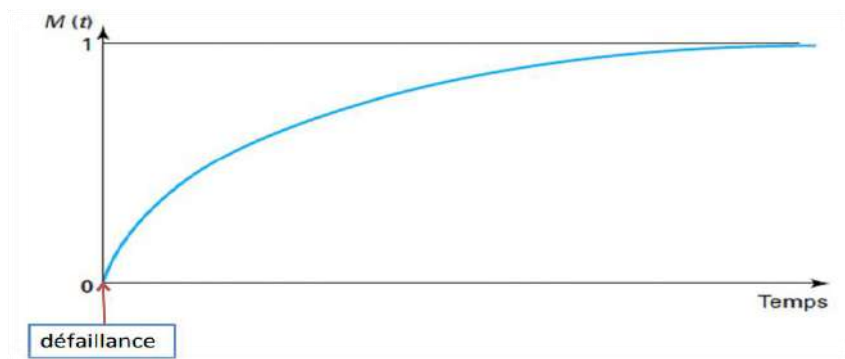
## II.6 Maintenabilité:

**II.6.1 Définition** : Suivant la norme CEN 13306, elle se définit par :

« Dans des conditions données d'utilisation, 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». [15]

La maintenabilité d'une entité réparable est caractérisée par une probabilité  $M(t)$  que la maintenance d'une entité  $E$  accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits, soit achevée au temps  $t$ , sachant que  $E$  est défaillante au temps  $t = 0$  : [15]

$$\begin{aligned} M(t) &= P(\text{la maintenance de } E \text{ est achevée au temps } t) \\ &= 1 - P(E \text{ non réparée sur la durée } [0, t]) \end{aligned} \quad (\text{II.12})$$



**Figure II.14** : Allure de la courbe de maintenabilité. [15]

### II.6.1.1 Taux de réparation $\mu(t)$ :

On appelle taux de réparation  $\mu(t)$  d'un système réparable au temps  $t$  la probabilité que l'entité soit réparée entre  $t$  et  $t+dt$  sachant qu'elle n'était pas réparée sur l'intervalle  $[0, t]$ . En prenant un raisonnement similaire à celui utilisé pour le calcul de l'intensité de défaillance  $\lambda(t)$  et à l'aide du théorème des probabilités conditionnelles, on déduit, après des calculs simples : [15]

$$\mu(t) = \frac{1}{1-M(t)} \frac{dM(t)}{dt} \quad (\text{II.13})$$

Pour obtenir un taux de réparation constant, il suffit de remplacer instantanément toute entité réparée par une nouvelle entité défaillante. [15]

## II.7 Loi de Pareto :

### II.7.1 Origine de la méthode :

Elle est issue des travaux de Wilfred Pareto (1848-1923) économiste italien né à Paris. Il constata en étudiant la répartition de l'impôt foncier aux USA que 15% des contribuables payaient 85% du total. Depuis, cette méthode se nomme loi de Pareto, loi des 15-85 ou 20-80. [2]

### II.7.2 Définition et intérêt de la méthode :

Elle permet de choisir entre plusieurs problèmes ceux qui doivent être traité en priorité. Elle permet donc de distinguer d'une façon claire les éléments importants de ceux qui le sont moins. Elle évite ainsi de ne pas se laisser accaparer par des travaux certes utiles mais de très faible importance par rapport au volume des autres travaux.

C'est le cas d'un service maintenance, où les tâches sont nombreuses et la main d'œuvre est parfois insuffisante, de plus, les technologies récentes coûtent cher. Il convient par conséquent de s'organiser d'une façon rationnelle, ainsi en appliquant la méthode ABC de Pareto on peut remédier à ce problème en déterminant exactement les types d'interventions à mener en priorité. [2]

### II.7.3 But :

Le diagramme A.B.C (PARETO) permet de visualiser l'importance relative des différentes parties ou catégories d'un ensemble précédemment analysé et chiffré sous la forme d'un classement et d'une hiérarchisation. [9]

### II.7.4 Méthodologie :

Elle consiste à classer les pannes par ordre croissant de coûts (heures ou argent), chaque panne se rapporte à une machine, ou rubrique. Puis à établir un graphique faisant correspondre les pourcentages de coûts cumulés aux pourcentages de types de pannes cumulés. On obtient ainsi un graphe montrant trois zones :

- ❖ Zone A : Dans cette zone on constate que 20% des causes représente 80% des effets, c'est la zone de priorité.
  - ❖ Zone B : Dans cette zone, les 30% de causes suivantes ne effets que 15% supplémentaires.
  - ❖ Zone C : Enfin, dans cette zone, les 50% de causes restantes ne reviennent qu'à 5% des effets.
- [2]

**Conclusion** : il est évident que la préparation des travaux de maintenance doit porter sur les pannes de la zone A. [18]

## II.8 Diagramme Cause-Effets :

### II.8.1 Origine de Diagramme Cause-Effets :

Cet outil a été créé par Ishikawa, professeur à l'Université de la TOKYO dans les années 60 et concepteur d'une méthode de management de la qualité totale. [18]

### II.8.2 Définition :

Le diagramme causes-effet est une représentation graphique du classement par familles de toutes les causes possibles pouvant influencer un processus. Ces familles de causes au nombre de 5 engendrent la non qualité dans un processus de fabrication. Leur nom commence par la lettre M d'où l'appellation 5M. Ishikawa a proposé une représentation graphique en « arête de poisson ». [18]

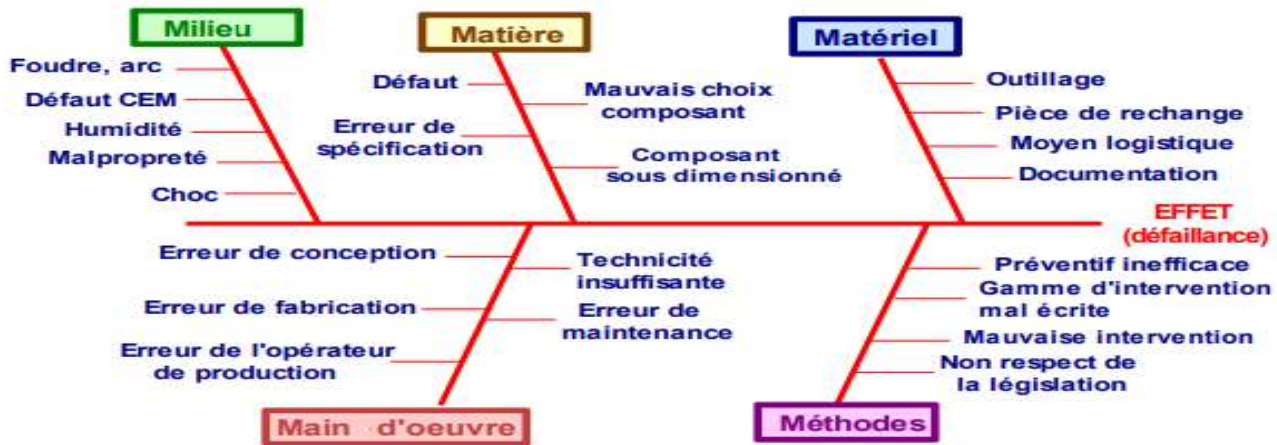


Figure II.15 : Diagramme d'Ishikawa. [18]

### II.8.3 L'intérêt de diagramme Causes-Effet :

L'intérêt de ce diagramme est son caractère exhaustif. Il peut aussi bien s'appliquer à des systèmes existants (évaluation) qu'à des systèmes en cours d'élaboration (validation). On pourra adjoindre au diagramme précédent des facteurs secondaires et tertiaires qui compléteront les facteurs primaires : On peut adapter cet outil à l'aide au diagnostic de la manière suivante :

- ❖ Définition de l'effet étudié en regroupant le maximum de données.
- ❖ Recensement de toutes les causes possibles ; le brainstorming<sup>1</sup> est un outil efficace pour cette phase de recherche.
- ❖ Classement typologique des causes.
- ❖ Hiérarchisation des causes dans chaque famille par ordre d'importance. [18]

### II.8.4 But :

Analyser et visualiser le rapport existant entre un problème (effet) et toutes ses causes possibles. Le diagramme d'Ishikawa est un outil graphique qui sert à comprendre les causes d'un défaut de qualité. [9]

### II.8.5 Construction du diagramme :

Le diagramme d'Ishikawa se présente sous la forme d'un graphe en arêtes de poisson. Dans ce dernier, sont classées par catégorie les causes selon la loi des 5 M (Matière, Main d'oeuvre, Matériel, Méthode, Milieu). Il se construit en cinq étapes :

- ❖ **Etape 1** : Placer une flèche horizontalement, pointée vers le problème identifié ou le but recherché.
- ❖ **Etape 2** : Regrouper à l'aide de la méthode de « brainstorming » par exemple, les causes potentielles en familles, appelées communément les 5M :
  - **M1 - Matières** : matières premières, pièces, ensembles, fournitures, identification, stockage, qualité, manutention
  - **M2 - Matériel** : Recense les causes probables ayant pour origine les supports techniques et les produits utilisés. Machines, outils, équipements, capacité, âge, nombre, maintenance

- **M3 - Main d'œuvre** : directe, indirecte, motivation, formation, absentéisme, expérience, problème de compétence, d'organisation, de management .
- **M4 - Milieu** : environnement physique, éclairage, bruit, aménagement, relations, température, climat, marché, législation
- **M5 - Méthodes** : instructions, manuels, procédures, modes opératoires
  - ❖ **Etape 3** : Tracer les flèches secondaires correspondant au nombre de familles des causes potentielles identifiées, et les raccorder à la flèche principale. Chaque flèche secondaire identifie une des familles de causes potentielles. Etape 4. Inscrive sur des minis flèches, les causes rattachées à chacune des familles. Il faut veiller à ce que toutes les causes potentielles apparaissent.
  - ❖ **Etape 5** : Rechercher parmi les causes potentielles exposées, les causes réelles du problème identifié. Ce sera notamment la cause la plus probable qu'il restera à vérifier dans la réalité et à corriger. [9]

## II.9 Analyse AMDEC (Analyse des Modes de Défaillances de leur Effet et de leur Criticité) :

### II.9.1 Historique de l'AMDEC :

Cette méthode a été développée par l'armée américaine à la fin des années 1940, puis à servi dans les années 1960 pour l'étude de fiabilité des missions spatiales. Dans les années 1970, elle a été un des outils utilisés pour l'étude de fiabilité pour la conception des centrales nucléaires. Pendant cette même période, elle a été utilisée dans l'industrie automobile, notamment chez FORD ou elle a été introduite dans le référentiel Q101 EN 1986. [19]

### II.9.2 Définition de l'AMDEC :

L'AMDEC est une méthode qualitative et inductive qui définit une règle ou une loi à partir de l'expérience : un raisonnement inductif visant à identifier les risques de pannes potentielles contenues dans un avant-projet de produit ou du système, quelles que soient les technologies, de façon à les supprimer ou à les maîtriser (norme AFNOR X 60-510 de décembre 1986). [19]

Les mots relatifs à l'AMDEC sont :

- **Fréquence (F)** : Fréquence d'apparition de la défaillance : elle doit représenter la probabilité d'apparition du mode de défaillance résultat d'une cause.
- **Détection (D)** : Fréquence de non détection de la défaillance : elle doit représenter la probabilité de ne pas détecter la cause ou le mode de défaillance avant que l'effet survient.
- **Gravité (G)** : Gravité des effets de la défaillance : la gravité représente la sévérité relative à l'effet de la défaillance.
- **Criticité (C)** : Elle est exprimée par l'indice de priorité risque.  $C = F.G.D$

### II.9.3 Le but de L' AMDEC :

L'AMDEC : est une technique qui conduit à l'examen critique de la conception dans un but d'évaluer et de garantir la sureté de fonctionnement (sécurité, fiabilité, maintenabilité et disponibilité) d'un moyen de production.

L'AMDEC doit analyser la conception du moyen de production pour préparer son exploitation afin qu'il soit fiable et maintenable dans son environnement opérationnel pour parvenir à ce but, le propriétaire de l'installation exige :

- Quelle soit intrinsèquement fiable ;
- De disposer des pièces de rechange et des outillages adaptés ;
- De disposer des procédures ou aides minimisant les temps d'immobilisation du moyen par la diminution du temps d'intervention (diagnostique, réparation ou échange, et remise en service).
- Que les personnels (d'exploitation et de maintenance soient formés, qu'une maintenance préventive adaptée soit réalisée, afin de réduire la probabilité d'apparition de la panne.

L'AMDEC par l'évaluation de la criticité des conséquences des défaillances, permet de les classer par importance et de préparer un plan d'action visant à optimiser le moyen de production et ainsi réduire la criticité, action sur la probabilité d'apparition de la défaillance (ou sur la gravité de la conséquence). [22]

### II.9.4 Types d'AMDEC :

Il existe globalement trois types d'AMDEC suivant que le système analysé est :

- ❖ Le produit fabriqué par l'entreprise ;
- ❖ Le processus de fabrication du produit de l'entreprise ;
- ❖ Le moyen de production intervenant dans la production du produit de l'entreprise.

Ce sont : 1) AMDEC-Produit ; 2) AMDEC- Process 3) AMDEC- Moyen de production. [21]

### II.9.5 Les avantages et l'inconvénient général de la méthode AMDEC :

La méthode AMDEC confronte les connaissances de tous les secteurs d'activité de l'organisation, pour obtenir, dans un ordre que nous avons cherché à rendre significatif, les résultats suivants. [20]

#### II.9.5.1 Les avantages d'AMDEC :

- ❖ La satisfaction du client : Est l'objectif majeur de l'AMDEC, un objectif contre laquelle personne ne peut aujourd'hui s'élever. S'il n'y avait que ce seul argument en faveur de l'AMDEC, il devrait suffire à la rendre indispensable dans nos organisations.
  - ❖ Le pilotage de l'amélioration continue : par la gestion de plan d'action l'élaboration et la gestion de ces plans avec les mise a jour régulières de l'AMDEC un des moyens majeurs de faire vivre l'amélioration continue et de démontrer sa mise en œuvre.
  - ❖ La réduction de coûts : contrairement a ce que certains prétendant l'AMDEC vous aider à réduire les coûts internes d'obtention de la qualité a conditions de travaille aussi, sur les effets internes.
- => Dans le cadre de l'AMDEC procédé sur les réductions des rebuts et de retouches. Les coûts externes eux aussi seront diminué.

=> Moins de retours garanties, moins de réclamations clients, moins de plaintes ..... Etc.

- ❖ L'optimisation de contrôles : L'AMDEC vous aide à ne faire des contrôles que sur les points qui le nécessitent .Elle ne vous contraint pas à tout contrôler comme nous le voyons et l'entendons dire trop souvent.
- ❖ L'élimination des causes de défaillances : C'est un des objectifs majeurs de l'AMDEC qui se traduira par la mise en place de mesures préventives voire par l'élaboration de plans d'actions. [20]

#### II.9.5.2 Inconvénients d'AMDEC :

- ❖ Coûts souvent élevés au début de l'application.
- ❖ Ne ne permet pas parfois de prendre en compte la combinaison de plusieurs défaillances.
- ❖ Parfois difficile à animer car regroupant des responsables de secteurs qui ont souvent du mal à respecter les séances de travail.
- ❖ Nécessité de Brainstorming. [20]

#### II.9.6. Les étapes nécessaires pour une méthode AMDEC complète :

La méthode s'inscrit dans une démarche en huit étapes comme suit :

- ❖ **Étape 1** : La constitution d'une équipe de travail
- ❖ **Étape 2** : Analyse fonctionnelle.
- ❖ **Étape 3** : L'étude qualitative des défaillances.
- ❖ **Étape 4** : L'étude quantitative.
- ❖ **Étape 5** : La hiérarchisation.
- ❖ **Étape 6** : La recherche des actions préventives/correctives.
- ❖ **Étape 7** : Le suivi des actions prises et la réévaluation de criticité.
- ❖ **Étape 8** : La présentation des résultats. [20]



**Figure II.16** :la démarche AMDEC. [9]

## II.10 L'arbre de défaillance :

### II.10.1 Historique :

L'analyse par arbre des défaillances fut historiquement la première méthode mise au point en vue de procéder à un examen systématique des risques. Elle a été élaborée au début des années 1960 par la compagnie américaine « Bell Téléphone » et fut expérimentée pour l'évaluation de la sécurité des systèmes de tir de missiles. Visant à déterminer l'enchaînement et les combinaisons d'événements pouvant conduire à un événement redouté pris comme référence, l'analyse par arbre des défaillances est maintenant appliquée dans de nombreux domaines tels que l'aéronautique, le nucléaire, l'industrie chimique, etc. Elle est aussi utilisée pour analyser a posteriori les causes d'accidents qui se sont produits. Dans ces cas, l'événement redouté final est généralement connu car observé. On parle alors d'analyse par arbre des causes, l'objectif principal étant de déterminer les causes réelles qui ont conduit à l'accident. [23]

### II.10.2 Définition :

L'analyse par un Arbre de Défaillances (AdD) est une méthode qui permet, à partir d'un événement redouté, recensé à l'aide d'une APR, de déterminer les enchaînements d'événements ou combinaisons d'événements pouvant conduire à cet événement redouté.

Cette analyse permet de descendre de cause en cause jusqu'aux événements de base susceptibles d'être à l'origine de l'événement redouté. [14]



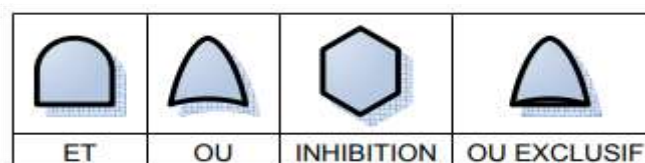
**II.10.3 Principe :**

L'analyse par arbre de défaillances est une méthode de type déductif. En effet, il s'agit, à partir d'un événement redouté défini a priori, de déterminer les enchaînements d'évènements ou combinaisons d'évènements pouvant finalement conduire à cet événement. Cette analyse permet de remonter de causes en causes jusqu'aux évènements de base susceptibles d'être à l'origine de l'évènement redouté. [23]

- Les évènements de base correspondent généralement à des :
  - Évènements élémentaires qui sont suffisamment connus et décrits par ailleurs pour qu'il ne soit pas utile d'en rechercher les causes. Ainsi, leur probabilité d'occurrence est également connue.
  - Évènements ne pouvant être considérés comme élémentaires mais dont les causes ne seront pas développées faute d'intérêt,
  - Évènements dont les causes seront développés ultérieurement au gré d'une nouvelle analyse par exemple,
  - Évènements survenant normalement et de manière récurrente dans le fonctionnement du procédé ou de l'installation.

Quelle que soit la nature des éléments de base identifiés, l'analyse par arbre des défaillances est fondée sur les principes suivants :

- Ces évènements sont indépendants,
- Ils ne seront pas décomposés en éléments plus simples faute de renseignements, d'intérêt ou bien parce que cela est impossible,
- Leur fréquence ou leur probabilité d'occurrence peut être évaluée. Ainsi, l'analyse par arbre des défaillances permet d'identifier les successions et les combinaisons d'évènements qui conduisent des évènements de base jusqu'à l'évènement indésirable retenu. Les liens entre les différents évènements identifiés sont réalisés grâce à des portes logiques de type « ET » et « OU » par exemple.



**Figure II.17 :** Symboles des portes

Cette méthode utilise une symbolique graphique particulière qui permet de présenter les résultats dans une structure arborescente.

A l'aide de règles mathématiques et statistiques, il est alors théoriquement possible d'évaluer la probabilité d'occurrence de l'évènement final à partir des probabilités des évènements de base identifiés. L'analyse par arbre des défaillances d'un évènement redouté peut se décomposer en trois étapes successives :

- Définition de l'évènement redouté étudié,
- Élaboration de l'arbre,
- Exploitation de l'arbre.

Il convient d'ajouter à ces étapes, une étape préliminaire de connaissance du système. Cette dernière est primordiale pour mener l'analyse et nécessite le plus souvent une connaissance préalable des risques. [23]

#### II.10.4 Construction de L'arbre :

Cette construction est détaillée dans plusieurs normes industrielles dont la norme CEI 61025.

##### 1. Évènement sommet (évènement indésirable) :

La première étape réside dans la définition de l'évènement à étudier d'une façon explicite et précise, cet évènement est appelé sommet, ou encore évènement redouté. Cette étape est cruciale quant à la valeur des conclusions qui seront tirées de l'analyse. L'arbre de défaillance se veut être une représentation synthétique ; le libellé de l'évènement devra être bref, mais aussi évocateur que possible dans la boîte qui le représente dans l'arbre, on lui associant un texte complémentaire apportant toutes les précisions utiles sur la définition de l'évènement. Cette remarque est aussi valable pour tous les éléments qui vont figurer dans l'arbre.

##### 2. Évènement intermédiaires :

L'évènement sommet étant défini, il convient de décrire la combinaison d'évènements pouvant conduire à cet évènement sommet. Les évènements intermédiaires sont des évènements moins globaux. Une fois un évènement définis, ils seront liés à l'évènement sommet via un connecteur. Ces évènements intermédiaires peuvent être, à leur tour, redéfinis par d'autres évènements intermédiaires plus détaillés.

##### 3. Évènements de base, transfert et conditions :

Il est possible de prendre en compte des évènements sur lesquels les informations sont insuffisantes pour les décomposer davantage ou encore qu'il n'est pas utile de développer plus, ces évènements sont appelés évènements non développés. Lors de la construction de gros arbres de défaillances, il est pratique d'utiliser des portes de transfert, permettant ainsi de rendre la lecture et la validation de l'arbre plus aisée. Ces portes signalent que la suite de l'arbre est développée sur une autre page. Les évènements de bases sont les évènements les plus fins de l'arbre, il ne sera pas possible de les détailler davantage ; ils concernent la défaillance (électrique, mécanique, logiciel...) d'un élément du système. L'apparition de certains évènements (de base ou autres) peut avoir une conséquence à certaines conditions. Nous sommes donc conduits à introduire dans l'arbre des conditions dont la réalisation conditionne l'enchaînement. Ces conditions interviennent dans la construction de l'arbre comme des évènements intermédiaires, à l'exception que ces conditions ne sont plus décomposées donc « de base ».

##### 4. Connecteurs logiques :

Les connecteurs logiques (ou portes logiques) sont les liaisons entre les différents branches et/ou évènements. Les plus classiques sont ET et OU.

Les connecteurs fonctionnent comme suit :

- ❖ OU : l'évènement en sortie/supérieur survient si, au moins, un des évènements en entrée/inférieur survient/est présent ;
- ❖ ET : l'évènement en sortie/supérieur survient seulement si tous les évènements en entrée/inférieur surviennent/sont présents ;

- ❖  $K/N$  : c'est un vote majoritaire : l'évènement en sortie/supérieur survient si au moins  $K$  (c'est un entier qui sert à paramétrer le comportement de la porte) parmi les  $N$  évènements en entrée/inférieur surviennent/sont présents. Cette porte généralise les deux précédentes : une porte OU est une porte  $1/N$  et une porte ET est une porte  $N/N$ .

L'utilisation exclusive des trois connecteurs mentionnés ci-dessus permet de rester dans le cadre des arbres de défaillances cohérents, et c'est en pratique ce qui est fait le plus souvent.

Dans certaines situations, il est nécessaire d'introduire des non cohérences avec des connecteurs NON, OU exclusif (réalisé si une et une seule de ses entrées est réalisée) ...etc. mais cela rend le traitement mathématique plus complexe.

Enfin, il peut être pratique à des fins descriptives d'utiliser des connecteurs plus complexes, comme des connecteurs voleurs, conditionnels... Ces connecteurs permettent de traduire des comportements particuliers qu'il est possible de rencontrer dans certaines architectures. Au même titre, une dimension temporelle peut être nécessaire pour traduire le comportement d'un système, pour cela il existe des connecteurs ET séquentiels prenant en compte le séquençage des évènements, des connecteurs SPARE prenant en compte des lots de rechanges, etc. l'utilisation de ces connecteurs peut conduire à des modèles dont la signification mathématique est ambiguë et est interprétée différemment suivant les outils informatiques dans lesquels ils sont saisis. [11]

### II.10.5 Symbole graphique :

Les symboles de base utilisés dans les arbres de défaillance sont classés en plusieurs types :

- ❖ Évènements
- ❖ Portes ;
- ❖ Symboles de transfert.

(Dans les logiciels permettant d'éditer des arbres de défaillances on pourra constater des variations mineures). Les différents symboles utilisés sont regroupés dans les tableaux 1 et 2. [11]


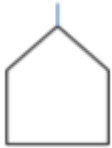

Symbole	Nom	Description
	Évènement de base	Évènement du plus bas niveau pour lequel la probabilité d'apparition ou d'information de fiabilité est disponible
	Évènement maison	Évènement qui doit se produire avec certitude lors de la production ou de la maintenance. On peut aussi le définir comme un évènement <u>non-probalisé</u> , que l'on doit choisir de mettre 1 ou 0 avant tout traitement de l'arbre. Ce type d'évènement permet d'avoir plusieurs variantes d'un arbre sur un seul dessin, en modifiant la logique de l'arbre selon la valeur choisie par l'utilisateur
	Évènement non développé	Le développement de cet évènement n'est pas terminé, soit parce que ses conséquences sont négligeables, soit par manque d'information.

Tableau II.2: Symboles des évènements dans les arbres de défaillance. [11]


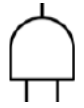



Symbole	Nom	Description	Nombre d'entrées
	OU (OR)	L'évènement de sortie apparait si au moins un des évènements d'entrées apparait	>1
	ET (AND)	L'évènement de sortie apparait si tous les évènements apparaissent	>1
	NON (NOT)	L'évènement de sortie apparait si l'évènement d'entrée n'apparait pas. L'état logique de la sortie est l'inverse de celui d'entrée.	=1
	OU Exclusif (XOR)	L'évènement de sortie apparait si un seul évènement d'entrée apparait.	>1
	Vote Majoritaire	L'évènement de sortie apparait si au moins K évènements d'entrées apparaissent ( $K < n$ )	>1

Tableau II.3 : Symboles des portes dans les arbres de défaillance. [11]

Les principaux traitements que l'on peut faire à partir de la fonction booléenne sont les suivants :

- ❖ L'énumération des coupes minimales.
- ❖ Le calcul des facteurs d'importance structurelle.

Très peu utilisés en pratique, ils visent à donner des indications du même ordre que les facteurs d'importance calculés avec des probabilités, lorsque celles-ci ne sont pas disponibles. Une grande variété d'algorithmes permettant de faire ces traitements. [11]

#### **II.10.6 Résumé des règles importantes de la construction de l'arbre de défaillance :**

1. Partir de l'évènement redouté (sommet de l'arbre),
2. Imaginer les évènements intermédiaires possibles expliquant l'évènement sommet,
3. Considérer chaque évènement intermédiaire comme un nouvel évènement sommet,
4. Imaginer les causes possibles de chaque évènement au niveau considéré,
5. Descendre progressivement dans l'arbre jusqu'aux évènements de base. [11]

#### **II.10.7 Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons présenté des généralités sur la maintenance, qui, nous avons touché à l'analyse fonctionnelle, FMD, méthode d'Ishikawa, méthode ABC, AMDEC et méthode ADD parce que la maintenance est très importante dans l'industrie pour diminuer les coûts et éviter les accidents.

A decorative border in a light teal color, forming an oval shape. It features four ornate floral motifs at the corners, each with green leaves, yellow and red flowers, and a light blue background.

# Chapitre III

## **Exemple d'application**

### III.1 Introduction :

Positionner la maintenance au sein de l'appareil de production est un exercice difficile, comme il est toujours difficile de faire simple dans un environnement complexe. C'est l'objectif du dernier chapitre où on tente par l'exploitation de l'historique de panne de la compresseur 103j de faire face à l'étude expérimentale des analyses fonctionnelles, la méthode (A.B.C), la diagramme Ichikawa, des indicateurs FMD, étude l'AMDEC et ADD de telle compresseurs.

### III.2 Analyse fonctionnelle

#### III.2.1 La Bête à cornes :

1. A qui ou quoi le produit rend-il service ?
  - La réponse : **l'utilisateur.**
2. Sur qui ou quoi agit-il ?
  - La réponse : **Gaz.**
3. Dans quel but ?
  - La réponse : **Aspirer gaz et expirer-le a haute pression.**

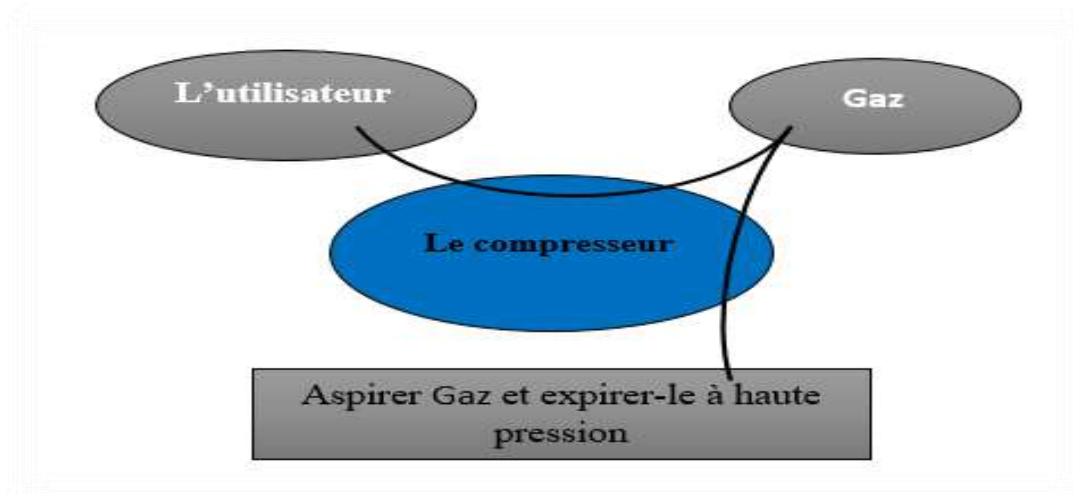


Figure III.1 : La Bête à cornes

III.2.2 La pieuvre:

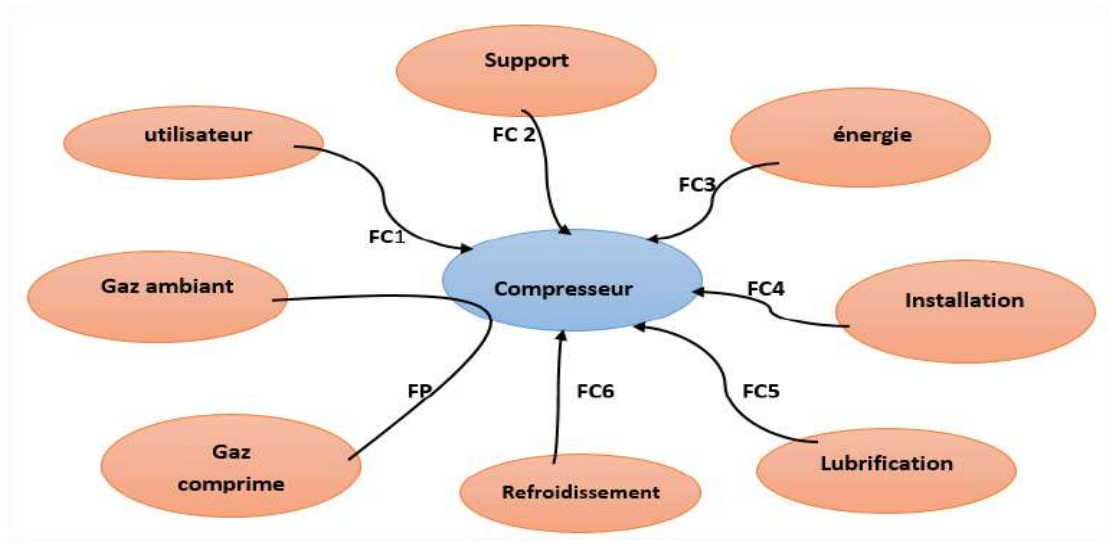


Figure III.2 : La pieuvre

Fonctions	Significations
<b>FP</b>	Transformation de gaz ambiant en gaz comprimé
<b>FC1</b>	Permettre une mise en situation ergonomique
<b>FC2</b>	S'adapter au revêtement du sol
<b>FC3</b>	Utiliser l'énergie du secteur
<b>FC4</b>	Respecter les besoins pression et débit de l'installation alimentée
<b>FC5</b>	Réduire le coefficient de frottement.
<b>FC6</b>	Assurer le fonctionnement à une température optimale.

Tableau III.1 : Fonctions et leurs significations

III.2.3 SADT: analyse descendante et liens inter-fonctionnelle

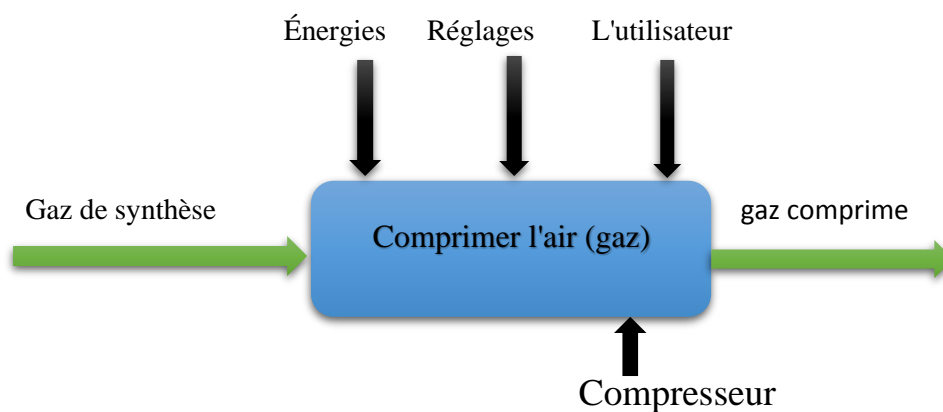


Figure III.3 : analyse descendante et liens inter-fonctionnelle



**III.3 L'application Pratique des méthodes d'analyse :**

◆ **Exploitation de l'historique :**

L'historique de panne (la compresseur 103j) ;

Le traitement des données brutes de l'historique (tableau suivant), 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 de l'arrêt	TBF (h)	TTR (h)	Tâches effectués
1	07/03/2008	15/03/2008	192	290	Changement : rotor + palier porteur étanchéité + accouplement
2	27/03/2008	29/03/2008	37	12	Fuit d'huile
3	29/03/2008	11/04/2008	313	48	Inspection compresseur BP- rotor
4	13/04/2008	23/04/2008	246	46	Rénovation câble (compresseur HP)
5	25/04/2008	26/04/2008	24	66	Changement accouplement (compresseur HP)
6	29/04/2008	11/06/2008	1022	8	Mise en place sonde palier
7	11/06/2008	17/07/2008	854	12	Inspection palier et changement sonde (compresseur HP)
8	17/07/2008	28/12/2008	3912	8	Travaux sur les sondes (compresseur BP)
9	28/12/2008	23/03/2009	2048	24	Prévention instrumentation compresseur – fuit d'huile
10	24/03/2009	23/05/2009	1420	4	Élimination fuit d'huile
11	23/05/2009	06/08/2009	1780	120	Travaux sur régulateur de vitesse de compresseur (changement)
12	11/08/2009	05/01/2010	3512	10	Changement sonde de vibration
13	05/01/2010	02/04/2010	2099	360	Ouverture éventuels réparation (compresseur BP)
14	17/04/2010	23/05/2010	844	48	Inspection accouplement (Compresseur BP)
15	25/05/2010	26/08/2010	2244	66	Synchronisation vannes BP/HP
16	29/08/2010	28/09/2010	739	5	Étanchéité – sonde (Compresseur BP)
17	28/09/2010	10/10/2010	296	48	Travaux sur les sondes
18	12/10/2010	30/11/2010	1192	10	Changement filtre (Compresseur BP)

**Tableau III.2:** Dossier historique de compresseur103j [12]

**III.3.1 Méthodes d'analyse prévisionnelle « ABC (Pareto) » :**

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

N°	Organe	TTR(h)	Cumul TTR	TTR%	Nombre des pannes	Cumulées des pannes	Cumulées des pannes%
1	Accouplement	404	404	23.80	3	3	15
2	Rotor	338	742	43.72	2	5	25
3	Palier	302	1044	61.52	2	7	35
4	Boite étanchéité	290	1334	78.60	1	8	40
5	Régulateur	120	1454	85.68	1	9	45
6	Sonde	91	1545	91.04	6	15	75
7	Vanne	66	1611	94.93	1	16	80
8	Câble	46	1657	97.64	1	17	85
9	Huile	40	1697	100	3	20	100

Tableau III.3: les analyse ABC (Pareto)

**III.3.1.1 La courbe d'analyse ABC :**

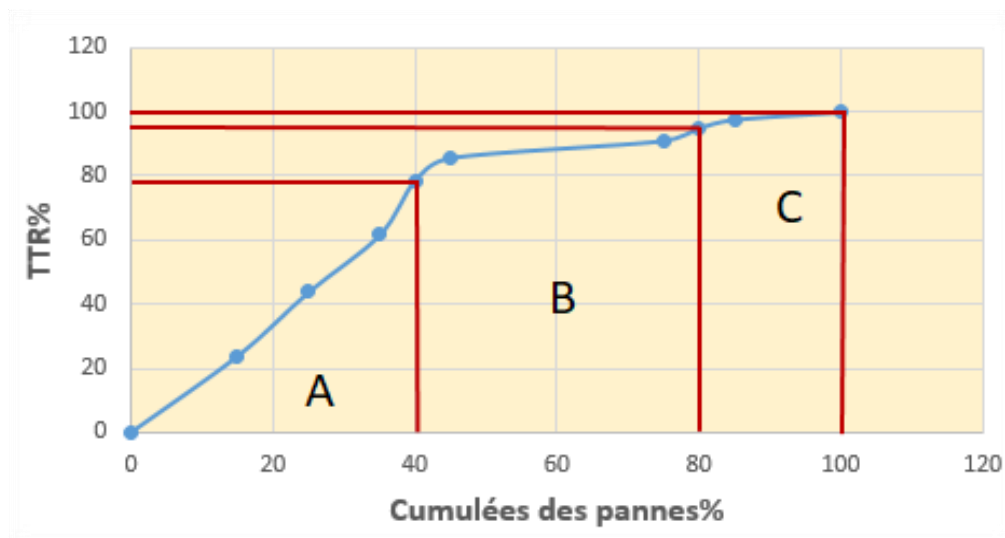


Figure III.4: La courbe d'analyse ABC.

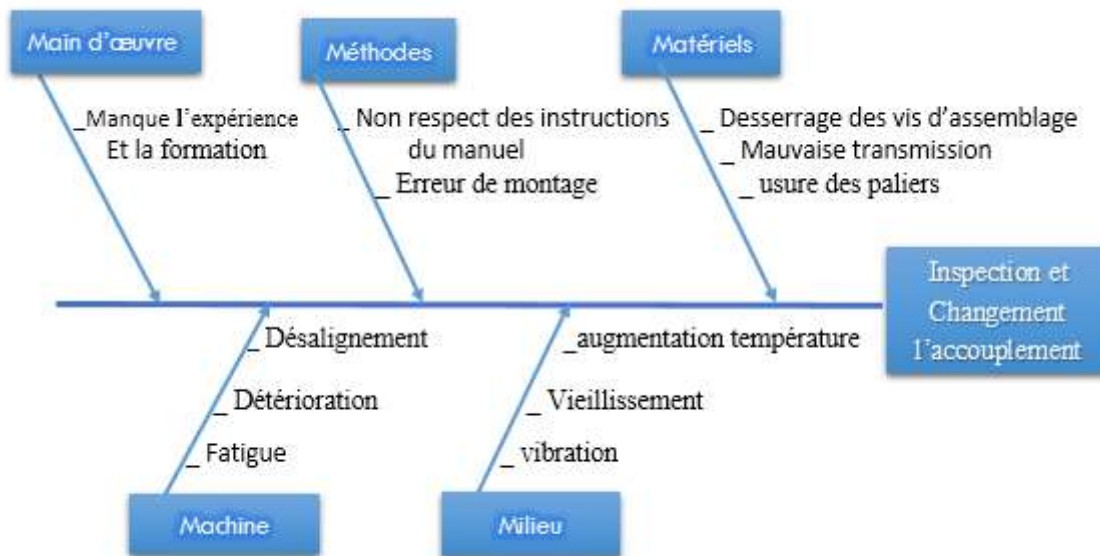
**III.3.1.2 Interprétation des résultats :**

- ❖ **Zone "A" :** Dans cette zone, on constat que environ 40% des interventions représente **78.60%** des heures de réparation, ceci constitue la zone A . zone des priorités (Accouplement- Rotor- palier- Boite étanchéité).

- ❖ **Zone "B"** : Dans cette tranche les 40% des interventions représentent **16.33%** supplémentaire. (Régulateur- Sonde-Vanne).
- ❖ **Zone "C"** : Dans cette zone les 20 % des interventions restantes ne représentent qu'ont **5.07%** des heures de réparation. (Câble-huile).

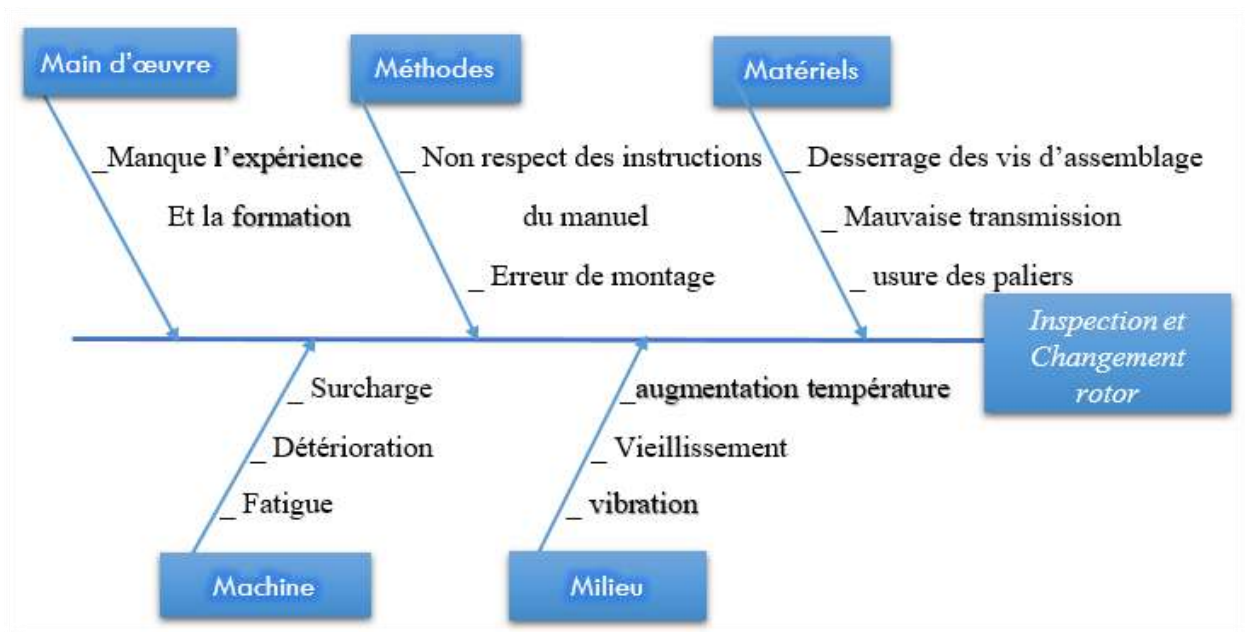
**III.3.2 Diagramme causes-effet : (les causes qui augmente les temps d'arrêt)**

**III.3.2.1 Analyse d'intervention Inspection et Changement l'accouplement :**



**Figure III.5:** Analyse d'intervention Inspection et Changement l'accouplement

**III.3.2.2 Analyse d'intervention inspection et Changement rotor :**



**Figure III.6 :** Analyse d'intervention inspection et Changement rotor

III.3.2.3 Analyse d'intervention démontage et inspection les paliers :

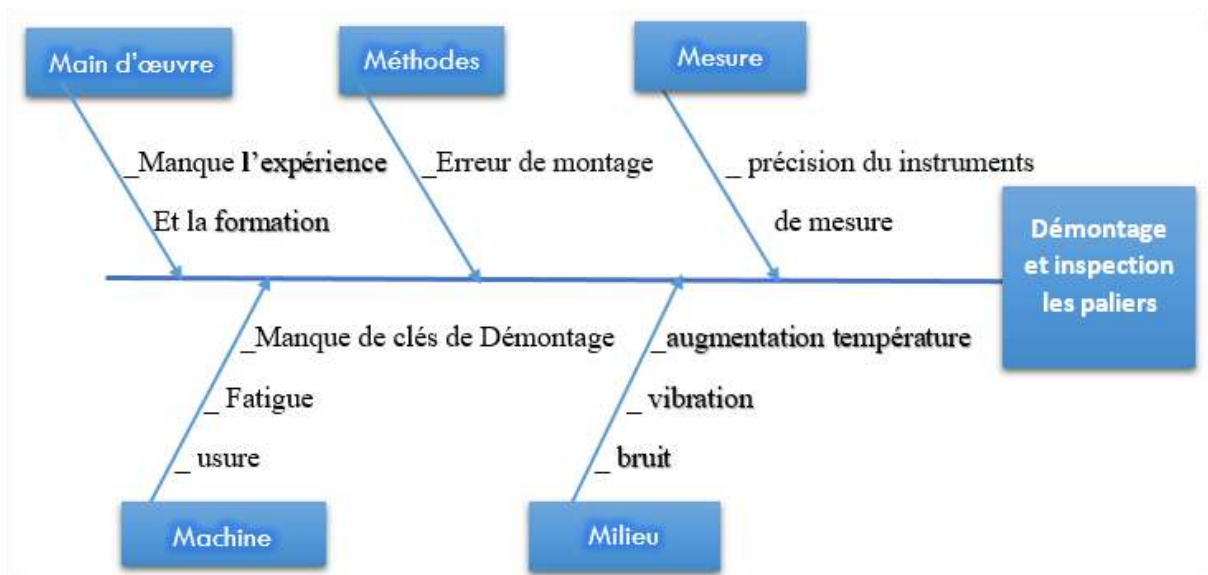


Figure III.7: Analyse d'intervention démontage et inspection les paliers

III.3.2.4. Analyse d'intervention Vérification et Changement Boite étanchéité :

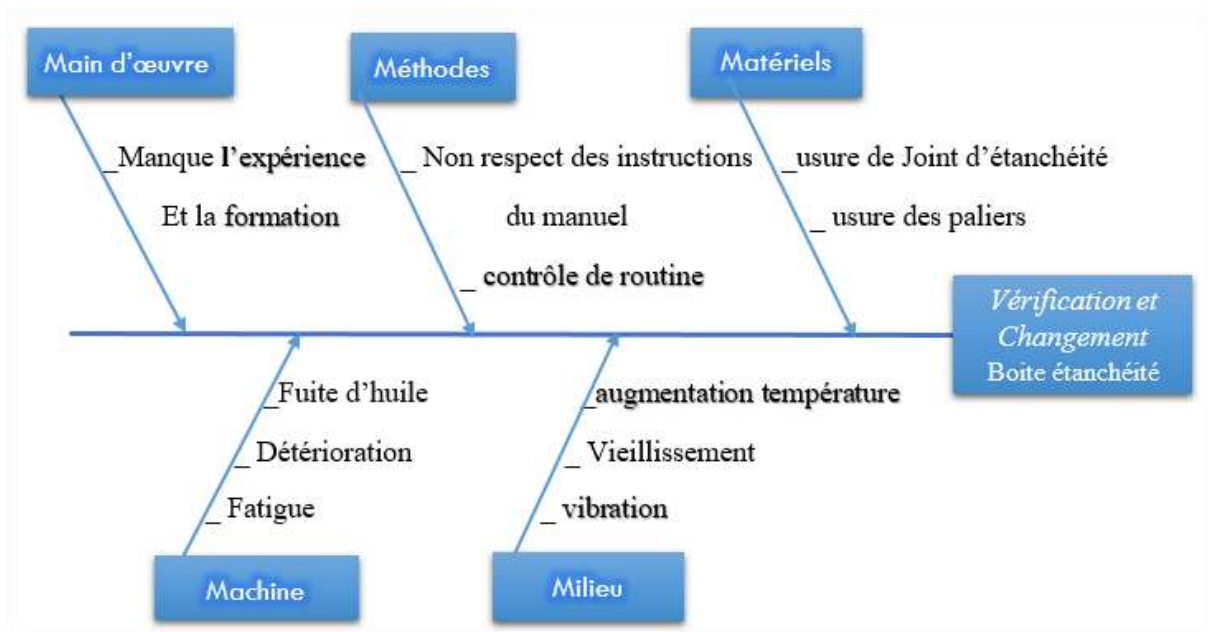


Figure III.8: Analyse d'intervention Vérification et Changement Boite étanchéité

III.3.2.5 Analyse d'intervention arrêt de compresseur :

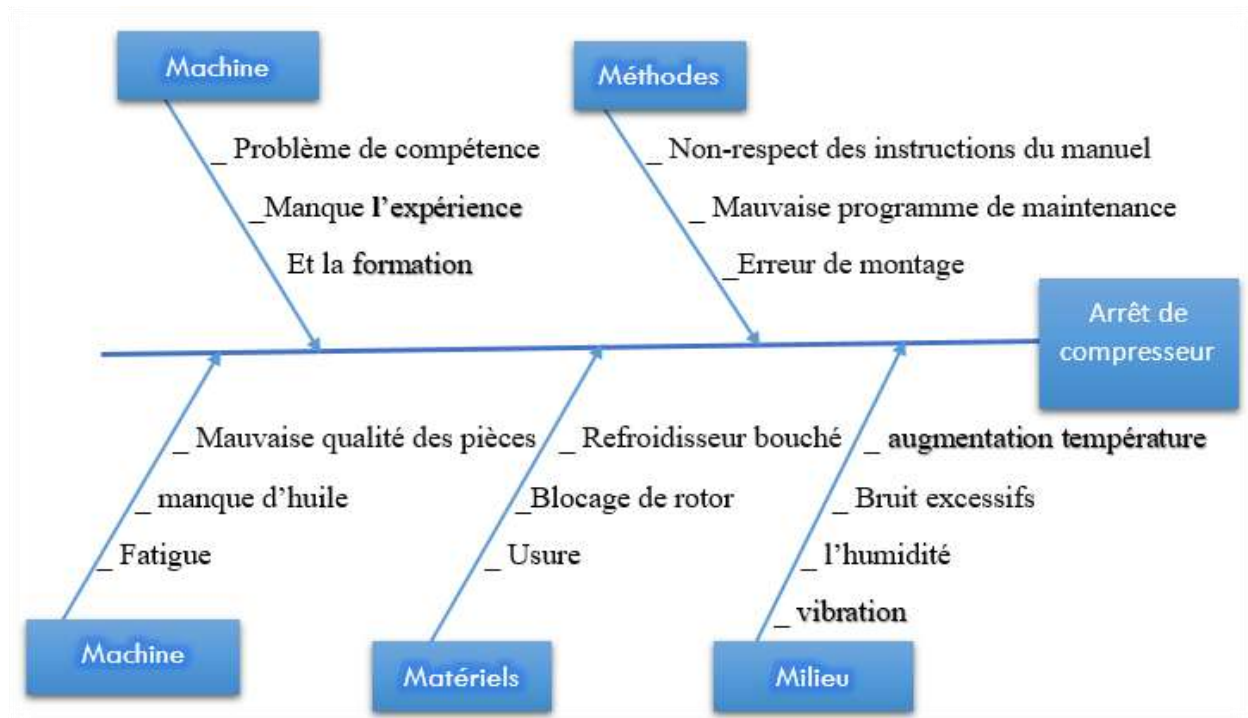


Figure III.9: Analyse d'intervention arrêt de compresseur

III.3.2.6 tableau « causes-remèdes »:

Pour minimiser les temps d'intervention nous avons propose quelque remèdes selon chaque cause dans le tableau « causes-remèdes » suivant:

N°	Causes possibles	Remèdes
1	Problème de compétence	Amenez des personnes qualifiées
2	Manque l'expérience et la formation	Mise en place de cours de formation
3	Non-respect des instructions du manuel	Tenez-vous au manuel d'instructions
4	Mauvaise programme de maintenance	Réalignement
5	contrôle de routine	Augmentation des contrôle de routine
6	précision du instruments de mesure	Ajuster l'étalonnage des instruments de mesure
7	Manque de clés de Démontage	Fournir des clés
8	Mauvaise qualité des pièces	L'acquisition de pièces de bonne qualité
9	Erreur de montage	Réassembler correctement les pièces
10	Blocage de rotor	remplacement du rotor
11	Refroidisseur bouché	Refroidisseur réparé ou changé
12	manque d'huile	Fournir l'huile nécessaire
13	Fuite d'huile	Changement des joints
14	usure de Joint d'étanchéité	Changement des joints
15	_ usure des paliers	Changement des roulements
16	Mauvaise transmission	serrage de système de fixation
17	Desserrage des vis d'assemblage	serrage des vis d'assemblage
18	augmentation température	Améliorer l'adaptation de l'atelier
19	Bruit excessifs	Transférer la réparation à l'atelier
20	Désalignement	serrage de système de fixation
21	Vibration	serrage de système de fixation
22	Fatigue	Changer les pièces Fatiguées
23	Vieillessement	Changer les pièces usées
24	l'humidité	L'acquisition de dispositifs spéciaux pour éliminer l'humidité
25	Surcharge	Régler la vitesse de rotation

Tableau III.4 : causes-remèdes .

**III.3.3 Étude FMD (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité) :**

**III.3.3.1 calcul les paramètres de Wei bull :**

Le tableau suivant comporte les TBF classés par ordre croissant, et les F(i) calculés par la méthode des rangs médians  $F(i) = \frac{\sum ni - 0,3}{N + 0,4}$  (Dans notre cas N = 18 ≤ 20) et on trace la courbe de Wei Bull :

N°	TBF(h)	ln(TBF) h	N	Σ ni	F(i)	F(i)%	ln [ln (1 / (1-F(i)))]
01	24	3,178	1	1	0.0380	3.80	-3,25
02	37	3,611	1	2	0.0924	9.24	-2,33
03	192	5,257	1	3	0.1467	14.67	-1,84
04	246	5,505	1	4	0.2011	20.11	-1,49
05	296	5,690	1	5	0.2554	25.54	-1,22
06	313	5,746	1	6	0.3098	30.98	-0,99
07	739	6,605	1	7	0.3641	36.41	-0,79
08	844	6,738	1	8	0.4185	41.85	-0,61
09	854	6,750	1	9	0.4728	47.28	-0,45
10	1022	6,930	1	10	0.5272	52.72	-0,29
11	1192	7,083	1	11	0.5815	58.15	-0,14
12	1420	7,258	1	12	0.6359	63.59	0,01
13	1780	7,484	1	13	0.6902	69.02	0,16
14	2048	7,625	1	14	0.7446	74.46	0,31
15	2099	7,649	1	15	0.7989	79.89	0,47
16	2244	7,716	1	16	0.8533	85.33	0,65
17	3512	8,164	1	17	0.9076	90.76	0,87
18	3912	8,272	1	18	0.9620	96.20	1,18

Tableau III.4: Fonction de réparation réelle

**III.3.3.2 La Courbe de Wei bull :**

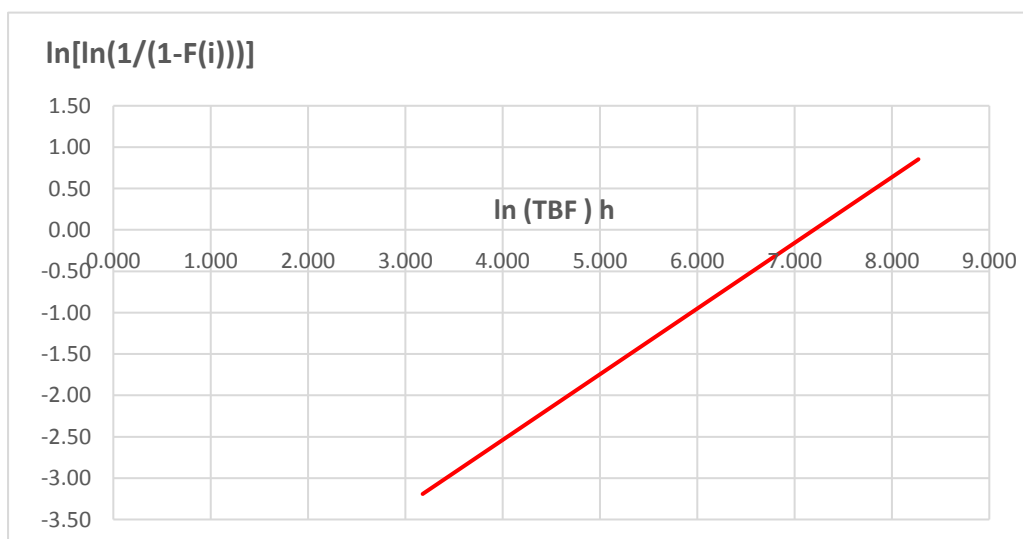


Figure III.10: papier de Weibull en logiciel Excel

### III.3.3.3 Test (Kolmogorov Smirnov) :

Avant la validation de toutes les lois de fiabilité, il est nécessaire de tester l'hypothèse pour savoir si nous devons accepter ou rejeter le modèle proposé par le test de K-S avec un seuil de confiance de  $\alpha = 20\%$ . Ce test consiste à calculer l'écart entre la fonction théorique  $F(i)$  et la fonction réelle  $F(t)$  et prendre le maximum en valeur absolue  $Dn.max$ .

Cette valeur est comparée avec  $Dn.\alpha$  Qui est donnée par la table de Kolmogorov Smirnov (voir sur table Annexe 1).

Si  $Dn.max > Dn.\alpha$  On refuse l'hypothèse.

Tableau K-S

N°	TBF(h)	F(i)	F(t)	$Dn.max =  F(i) - F(t) $
01	24	0.0380	0.0403	0.0023
02	37	0.0924	0.0563	0.0361
03	192	0.1467	0.1930	0.0463
04	246	0.2011	0.2297	0.0286
05	296	0.2554	0.2609	0.0055
06	313	0.3098	0.2710	0.0388
07	739	0.3641	0.4648	<b>0.1007</b>
08	844	0.4185	0.5008	0.0823
09	854	0.4728	0.5040	0.0312
10	1022	0.5272	0.5546	0.0274
11	1192	0.5815	0.5990	0.0175
12	1420	0.6359	0.6501	0.0142
13	1780	0.6902	0.7153	0.0251
14	2048	0.7446	0.7545	0.0099
15	2099	0.7989	0.7612	0.0377
16	2244	0.8533	0.7791	0.0742
17	3512	0.9076	0.8841	0.0235
18	3912	0.9620	0.9044	0.0576

Tableau III.5: test de Kolmogorov-Smirnov

D'après la table de K-S:

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

Nous avons pris la valeur maximale  $Dn.max = |F i - F t |$ .

$Dn.max = 0.1007$  tandis que  $Dn. \alpha = D_{18. 20} = 0,244$  (voir annexe tab.1).



0.1007 < 0,244 donc l'hypothèse du modèle de Wei Bull est acceptable.

**III.3.3.4 Exploitation les paramètres de WEIBULL :**

**III.3.3.4.1 Le MTBF :**

Le tableau de MTBF donne **A=1.1330** ; **B=1.43** (voir annexe 02).

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

$$MTBF = 1.133 \times 1335.2895 + 0$$

$$MTBF = \mathbf{1512.883 \text{ h}}$$

**III.3.3.4.2 La densité de probabilité en fonction de MTBF :**

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

$$f(1512.883) = \frac{0,79408}{1335,2895} \left(\frac{1512.883}{1335.2895}\right)^{0.79408-1} e^{-\left(\frac{1512.883}{1335.2895}\right)^{0.79408}} = 0.000192 = \mathbf{0.0192\%}$$

**III.3.3.4.3 La fonction de répartition en fonction de MTBF :**

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

$$F(MTBF) = 1 - e^{-\left(\frac{1512.883}{1335.2895}\right)^{0.79408}} = 0,6685 = \mathbf{66.85\%}$$

**III.3.3.4.4 La fiabilité en fonction de MTBF :**

$$R(t = MTBF) = 1 - F(t = MTBF) = 1 - 0,6685$$

$$R(MTBF) = 0,3315 = \mathbf{33.15\%}$$

On remarque que la fiabilité de la compresseur est faible.

**III.3.3.4.5 Le taux de défaillance en fonction de MTBF :**

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

$$\lambda(t = MTBF) = \frac{0.79408}{1335.289} \left(\frac{1512.883}{1335.289}\right)^{0.79408-1} = \mathbf{0,000579591 \text{ panne/heures}}$$

**III.3.3.4.6 Calcul du temps souhaitable pour une intervention systématique :**

$$R(t)=80\% \quad \longrightarrow \quad t = ??? \quad R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

$$\ln R(t) = -\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta = \ln(0.8) \quad \longleftrightarrow \quad -[\ln R(t)]^{\frac{1}{\beta}} = \frac{t}{\eta} \quad \longrightarrow \quad t = \eta \left[\ln\left(\frac{1}{R(t)}\right)\right]^{\frac{1}{\beta}}$$

$$t = 1335.289 \left[\ln\left(\frac{1}{0.8}\right)\right]^{\frac{1}{0.79408}} \quad \longrightarrow \quad t_{\text{sys}} = \mathbf{201,946 \text{ heures}}$$

Pour garder la fiabilité de la compresseur 80% il faut intervenir chaque temps systématique **201,946h**

III.3.3.5 Étude de modèle de Weibull :

III.3.3.5.1 La fonction de la densité de probabilité :

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

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

TBF	24	37	192	246	296	313	739	844	854	1022	1192	1420	1780	2048	2099	2244	3512	3912
f(t) 10 <sup>-4</sup>	13.06	11.74	7.16	6.49	5.99	5.84	3.6	3.26	3.23	2.8	2.44	2.05	1.6	1.34	1.29	1.18	0.56	0.45

Tableau III.6: Calcul la fonction de la densité de probabilité

III.3.3.5.1.1 Courbe de la densité de la probabilité f(t) :

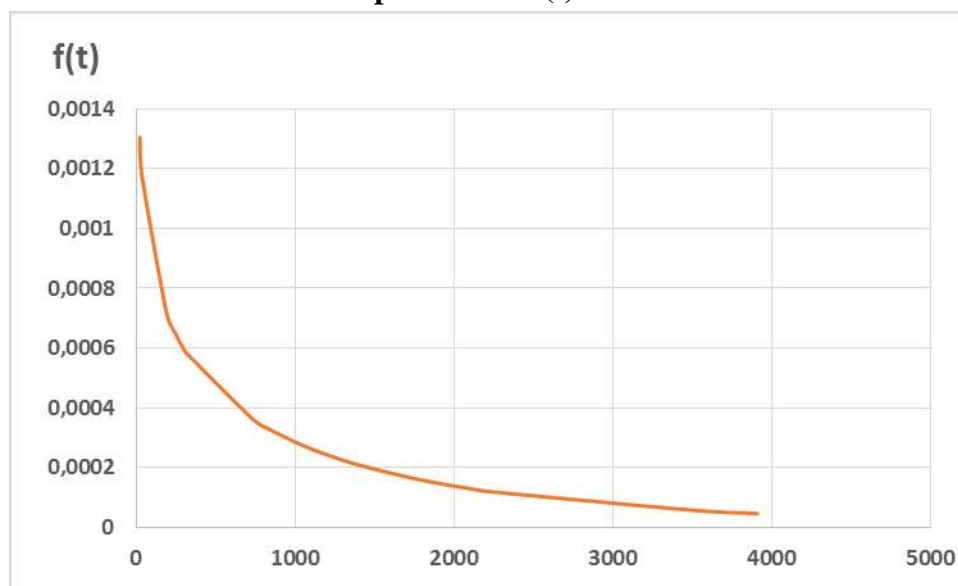


Figure III.11: La Courbe Densité De Probabilité

III.3.3.5.1.2 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.

III.3.3.5.2 Fonction de répartition F(t) :

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

TBF	24	37	192	246	296	313	739	844	854	1022	1192	1420	1780	2048	2099	2244	3512	3912
F(t)	0.04	0.05	0.19	0.22	0.26	0.27	0.46	0.50	0.50	0.55	0.59	0.65	0.71	0.75	0.76	0.77	0.88	0.99

Tableau III.7: Calcul la Fonction de répartition

III.3.3.5.2.1 Courbe fonction de répartition F(t) :

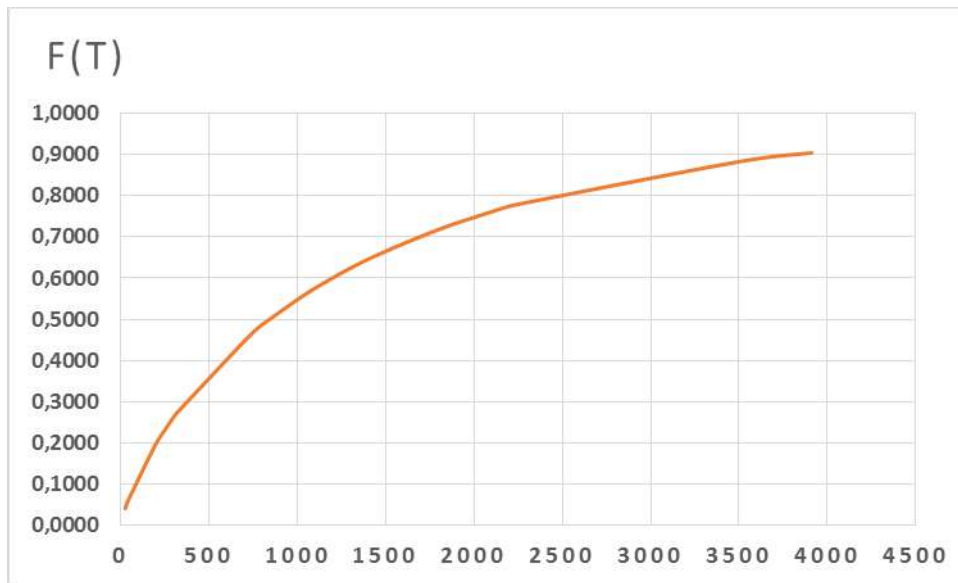


Figure III.12: La Courbe De Fonction Répartition

III.3.3.5.2.2 Analyse de la courbe :

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

III.3.3.5.3 La fiabilité R(t) :

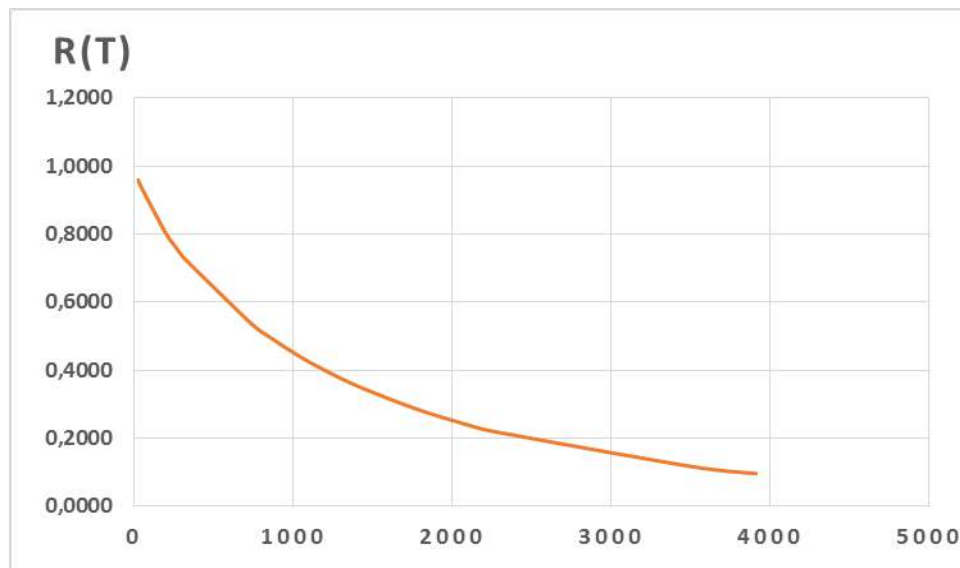
La fonction fiabilité de celle de répartition :  $R(t) = 1 - F(t)$ , après calcul de la fiabilité du compresseur au temps  $t = \text{MTBF}$ , on trouve que la valeur n'est pas satisfaisante donc on peut dire que le compresseurs n'est pas fiable à  $t = \text{MTBF}$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad R(t=\text{MTBF}) = 0.33$$

TBF	24	37	192	246	296	313	739	844	854	1022	1192	1420	1780	2048	2099	2244	3512	3912
R(t)	0.95	0.94	0.80	0.77	0.73	0.72	0.53	0.49	0.49	0.44	0.40	0.34	0.28	0.24	0.23	0.22	0.11	0.09

Tableau III.8: Calcul de la fiabilité

**III.3.3.5.3.1 Courbe de la fiabilité :**



**Figure III.13:** La Courbe De la Fonction Fiabilité

**III.3.3.5.3.2 Analyse de la courbe :**

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

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

**III.3.3.5.4 Le taux de défaillance :**

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

TBF	24	37	192	246	296	313	739	844	854	1022	1192	1420	1780	2048	2099	2244	3512	3912
$\lambda(t)$ $10^{-3}$	1.36	1.24	0.88	0.84	0.81	0.80	0.67	0.65	0.65	0.62	0.60	0.58	0.56	0.54	0.54	0.53	0.48	0.47

**Tableau III.9 :** Calcul le taux de défaillance

III.3.3.5.4.1 Courbe du taux de défaillance :

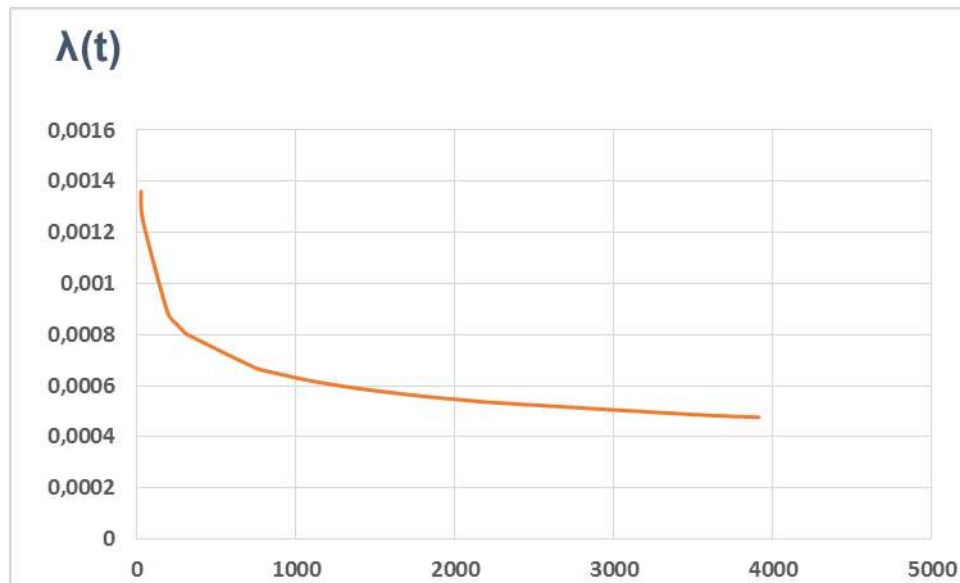


Figure III.14: Le courbe taux de défaillance

III.3.3.5.4.2 Analyse de la courbe :

Le taux de défaillance est décroissant en fonction de temps.

III.3.3.5.5 Calcul de Maintenabilité du compresseur :

D'après l'historique des pannes du compresseur :

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

TTR : temps de réparation.

N : nombre de pannes.

$$MTTR = 1185/18 = 65.83h.$$

$$\text{Avec } \mu = 1/MTTR = 1/65.83 = 0.01519 \text{ intervention / heure.}$$

$$M(t = MTTR) = 1 - e^{-\mu t} = 1 - e^{-(0.01519 * 65.83)} = 0.63$$

$$M(t = MTTR) = 63\%$$

TTR(h)	4	5	8	8	10	10	12	12	24	46	48	48	48	66	66	120	290	360
M(t)	0.05	0.07	0.11	0.11	0.13	0.13	0.16	0.16	0.30	0.49	0.51	0.51	0.51	0.62	0.62	0.83	0.98	0.99

Tableau III.10: La maintenabilité du compresseur

III.3.3.5.1 Courbe de maintenabilité :

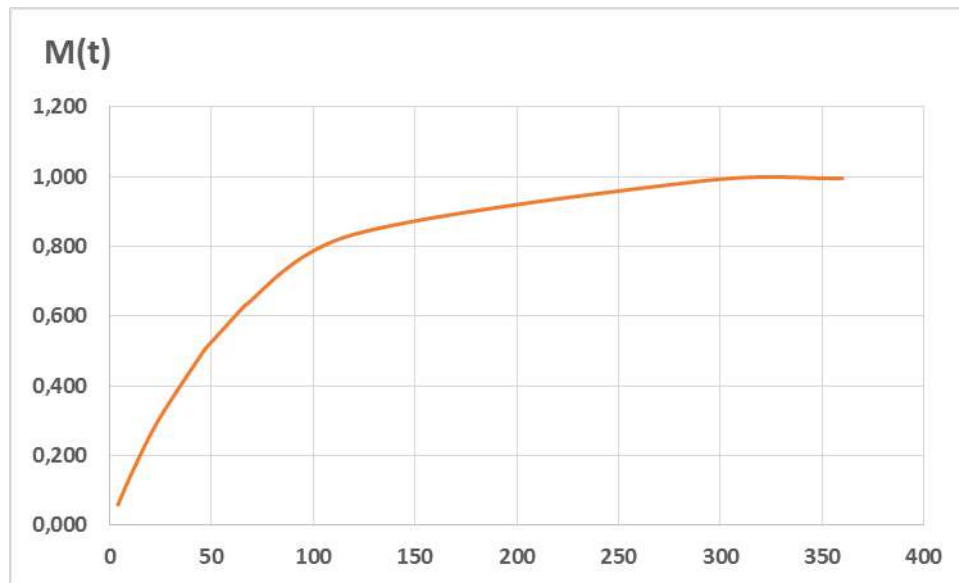


Figure III.15: La Courbe de Maintenabilité

III.3.3.5.2 Analyse de la courbe :

La Maintenabilité est croissante en fonction du temps.

III.3.3.5.6 Calcul la disponibilité du compresseur :

III.3.3.5.6.1 Disponibilité intrinsèque au asymptotique :

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{1512.88}{1512.88 + 65.83} = 0.95830$$

III.3.3.5.6.2 Disponibilité instantané :

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

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{1512.88} = 0.00066$$

$$MTTR = \frac{1}{\mu} \Rightarrow \mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{65.83} = 0.01519$$

$$\lambda + \mu = 0.00066 + 0.01519 = 0.01585$$

$$D(t) = \frac{0.01519}{0.01585} + \frac{0.00066}{0.01585} e^{-(0.01585)t}$$

III.3.3.5.6.3 Courbe fonction de la disponibilité :

T(h)	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
D(t)	0,989	0,980	0,974	0,970	0,967	0,965	0,963	0,962	0,961	0,960	0,960	0,959	0,959	0,959	0,959

Tableau III.11: Calcul la disponibilité instantané

III.3.3.5.6.4 Courbe de disponibilité :

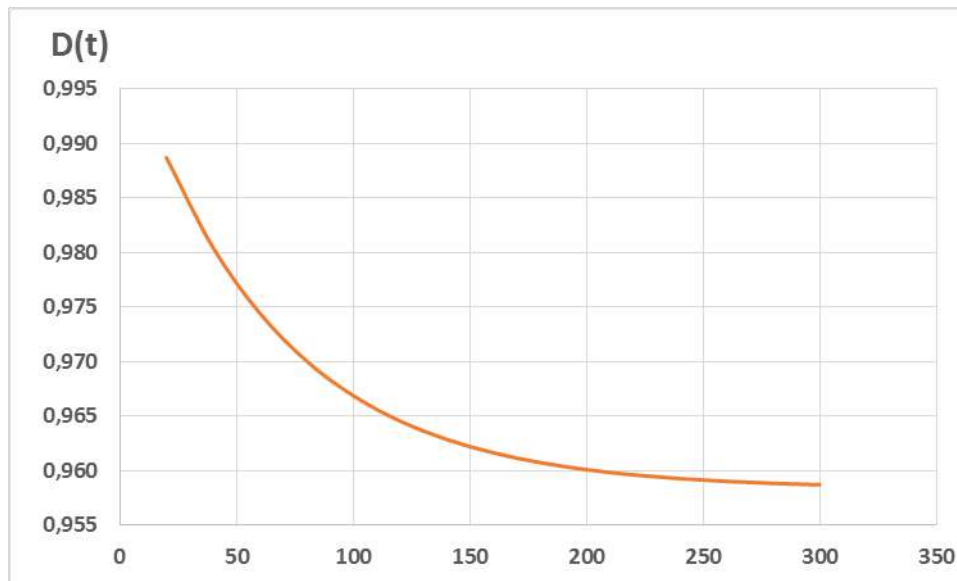


Figure III.16: La Courbe de disponibilité

III.3.3.5.6.5 Analyse de la courbe :

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

III.3.4 Étude AMDEC :

III.3.4.1 Calcul la criticité :

FREQUENCE : F	
1	1 défaillance maxi par an
2	1 défaillance maxi par trimestre
3	1 défaillance maxi par mois
4	1 défaillance maxi par semaine
GRAVITE : G	
1	Pas d'arrêt de la production
2	Arrêt ≤ 1 heure
3	1 heure < arrêt ≤ 1 jour
4	Arrêt > 1 jour
NON DETECTION : D	
1	Visite par opérateur
2	Détection aisée par un agent de maintenance
3	Détection difficile
4	Indécelable

Tableau III.12: les indices de défaillance

Donc la criticité évaluée par :  $C=F \cdot G \cdot D$

Et on obtient le tableau suivant :

N°	Niveau de criticité	Action corrective
1	$1 \leq C < 12C$ <b>criticité négligeable</b>	Aucune modification de conception , maintenance corrective
2	$12 \leq C < 16$ <b>Criticité Moyenne</b>	Amélioration de la performance de l'élément, maintenance préventive systématique.
3	$16 \leq C < 20$ <b>Criticité élevée</b>	surveillance particulière, maintenance préventive conditionnelle.
4	$C \geq 20$ <b>Criticité interdit</b>	Remise en cause complète de la conception de préventive conditionnelle.

Tableau III.13: indice de criticité C

1. **Accouplement :**

- ◆ indice de fréquence  $F = 3$
- ◆ indice de gravité  $G = 4$
- ◆ indice non détection  $D = 1$

**Criticité (C) =  $F \cdot G \cdot D$**   
 **$C = 3 \cdot 4 \cdot 1 = 12$**

2. **Rotor :**

- ◆ indice de fréquence  $F = 3$
- ◆ indice de gravité  $G = 4$
- ◆ indice non détection  $D = 2$

**Criticité (C) =  $F \cdot G \cdot D$**   
 **$C = 3 \cdot 4 \cdot 2 = 24$**

3. **Paliers :**

- ◆ indice de fréquence  $F = 2$
- ◆ indice de gravité  $G = 3$
- ◆ indice non détection  $D = 2$

**Criticité (C) =  $F \cdot G \cdot D$**   
 **$C = 2 \cdot 3 \cdot 2 = 12$**

4. **Sonde :**

- ◆ indice de fréquence  $F = 4$
- ◆ indice de gravité  $G = 4$
- ◆ indice non détection  $D = 2$

**Criticité (C) =  $F \cdot G \cdot D$**   
 **$C = 4 \cdot 4 \cdot 2 = 32$**

5. **Vannes :**

- ◆ indice de fréquence  $F = 1$
- ◆ indice de gravité  $G = 4$
- ◆ indice non détection  $D = 2$

**Criticité (C) =  $F \cdot G \cdot D$**   
 **$C = 1 \cdot 4 \cdot 2 = 8$**

6. **Joint d'étanchéité :**

- ◆ indice de fréquence  $F = 4$
- ◆ indice de gravité  $G = 4$
- ◆ indice non détection  $D = 1$

**Criticité (C) =  $F \cdot G \cdot D$**   
 **$C = 4 \cdot 4 \cdot 1 = 16$**



7. **Filtre :**

- ◆ indice de fréquence F = 1
- ◆ indice de gravité G = 3
- ◆ indice non détection D = 2



<b>Criticité (C) = F*G*D</b>
<b>C=1*3*2=6</b>

III.3.4.2 Tableau d'AMDEC :

PME :		Analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leurs criticités								
Sous-système : Compresseur 103j		DATE :								
L'élément	fonction	Modes de défaillance	cause	effet	détection	Criticité				Action
						F	G	D	C	
Accouplement	Transmettre la puissance au réducteur	Défaillance de système d'accouplement	-Desserrage des vis d'assemblage -Surcharge -fatigue désalignement	-Mauvaise transmission -usure des paliers -dégradation de fonctionnement de compresseur	visuel	3	4	1	12	réalignement -serrage de système de fixation
Rotor	Assurer le mouvement de rotation	Défaillance de la cage	-Fatigue -Surcharge	Arrêt de compresseur	Visuel	3	4	2	24	Changement de la cage
Paliers	Guider et supporter le rotor	Usure -cassure	-Fatigue -vibration	Echauffement -Blocage de rotor	-bruit Echauffement	2	3	2	12	Changement des roulements
Sonde	Capter les vibrations	Détérioration	Fatigue	Perte de précision	Mauvaise détection	4	3	3	32	Changement de la sonde
Vannes	Assure les commandes d'ouverture et fermeture	Fuit de vapeur	Raccords desserrés / joints défectueux	Arrêt de compresseur	Visuel (fuit)	1	2	4	8	Changement
Joint d'étanchéité	Assurer l'étanchéité	Usure	fatigue	Echauffement	Fuite d'huile	4	4	1	16	Changement des joints
Filtre	Filtre d'huile	Pas de filtration	Filtre déchiré	Marche dégradée	auditif	1	3	2	6	Changement de filtre

Tableau III.14: Tableau d'AMDEC [12]

III.3.4.3 Résultats de l'analyse AMDEC :

Élément	Criticité	Actions correctives à engager
Sonde Rotor	32 24	Remise en cause complète de la conception de préventive conditionnelle.
Joint d'étanchéité	16	surveillance particulière, maintenance préventive conditionnelle.
Paliers Accouplement	12 12	Amélioration de la performance de l'élément, maintenance préventive systématique.
Vannes Filtre	8 6	Aucune modification, maintenance corrective

Tableau III. 15: Résultats de l'analyse AMDEC

III.3.5 Arbres de défaillance :

III.3.5.1 Défaillance de la sonde :

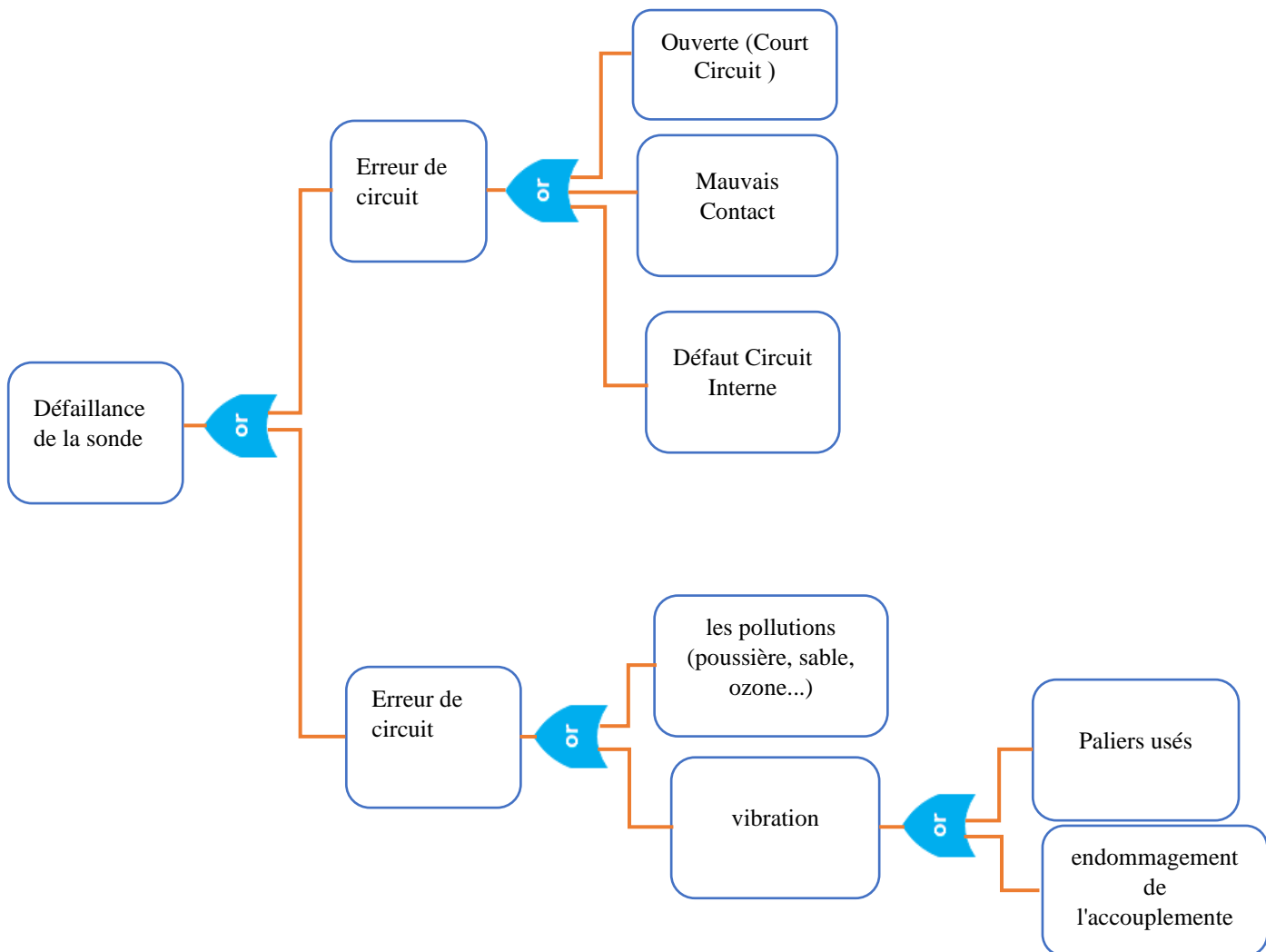


Figure III.17: Arbre de défaillance de la sonde

III.3.5.2 Défaillance de rotor :

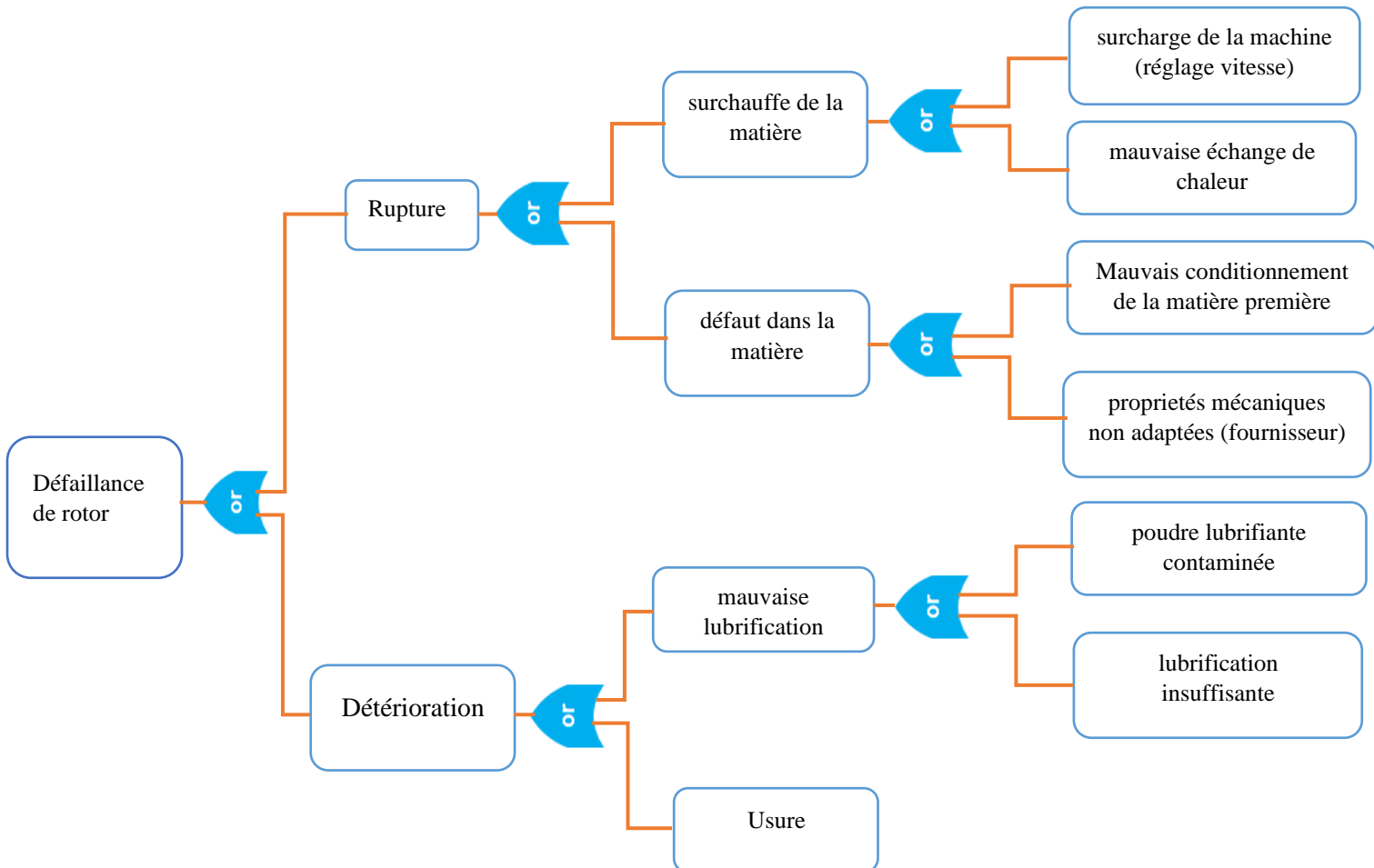


Figure III.18 : Arbre de défaillance de rotor

III.3.5.3 Défaillance de joint d'étanchéité :

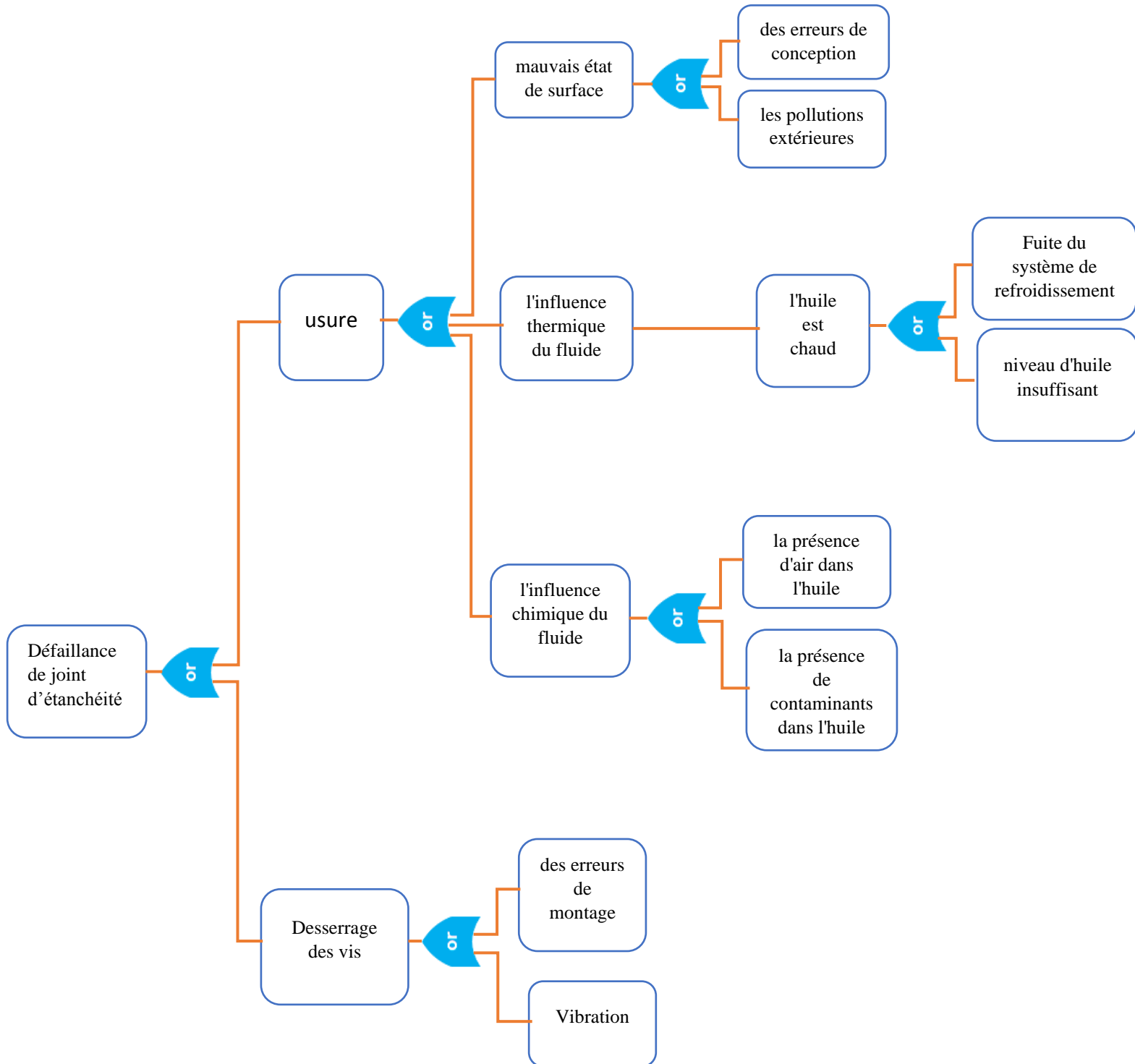


Figure III.19: arbre défaillance de joint d'étanchéité

### III.5 Conclusion :

Nous pouvons diviser ce chapitre en deux parties :

Dans la première partie, nous avons utilisé l'analyse fonctionnelle du compresseur, par laquelle nous avons identifié la cible principale et son support principal.

Dans la deuxième partie, à l'aide de l'historique de pannes du compresseur, nous avons fait le diagramme ABC et après avoir identifié ses éléments qui ont besoin de travaux maintenance pour lesquels le diagramme Ishikawa a été fait, puis nous avons étudié les indicateurs FMD , l'AMDEC et finalement l'utilisation l'arbre de défaillance, nous avons identifié les causes possible pour défaillance de la sonde comme (Erreur de circuit , Erreur de circuit , vibration ....) , et pour défaillance de rotor comme (Rupture , mauvaise lubrification , Détérioration ....) , et pour défaillance de joint d'étanchéité comme (usure , des erreurs de montage , mauvais état de surface ....) , et avons obtenu les résultats suivants :

- ❖ Les éléments qui causent **78.60%** des pannes dans compresseur sont (Accouplement, Rotor, palier et Boite étanchéité).
- ❖ Nous avons trouvé  $\beta = 0.79408$  donc  $\beta < 1$  le taux de défaillance est décroissant, le compresseur est en jeunesse.
- ❖  $\gamma = 0$  indique que les défaillances commencées au début dans la mise en Service à compresseur.
- ❖ MTBF= **1512.883 h**
- ❖ la fiabilité de la compresseur est faible  $R(\text{MTBF}) = 0,3315 = 33.15\%$  .
- ❖ Pour garder la fiabilité des compresseurs **80%** il faut intervenir chaque temps systématique **201,946 h** nous faisons quelques actions préventifs de compresseur.
- ❖ Dans le tableau AMDEC, nous constatons que la plus grande valeur critique est de 36 pour l'élément de sonde et la plus faible est de 4 pour l'élément filtre.

A decorative border in a light teal color, forming an oval shape. It features four ornate floral motifs at the corners, each with green leaves, yellow and red flowers, and a small white bell-like element.

# **Conclusion générale**

# Conclusion générale

Les compresseurs sont des installations industrielles qui ont été adoptées depuis longtemps et jusqu'à présent pour leur rôle prépondérant dans l'industrie, bien qu'ils soient sensibles aux changements externes et internes qui affectent la durée de vie de ces compresseurs.

Cette étude a été d'un grand intérêt scientifique pour nous, et elle a approfondi notre connaissance théorique des compresseurs en général et du compresseur 103J en particulier.

Nous avons également abordé l'étude des facteurs affectant la dégradation du rendement, la production et ses causes en insistant sur l'importance d'une politique d'entretien appropriée fondée sur la prévention plutôt que sur de simples mesures correctives.

Il y a des éléments importants dans le compresseur qui nécessitent une attention et une priorité sur les autres, comme décrit dans la méthode ABC, et pour trouver les causes des problèmes (ISHICAWA) a été utilisé avec des solutions attachées.

Pour garder la fiabilité des compresseurs **80%** il faut intervenir chaque temps systématique 201,946 h nous faisons quelques actions préventives de compresseur.

Des décisions stratégiques et une proposition de politique de maintenance efficace ont été prises par AMDEC comme approche très pratique pour analyser les défaillances, leurs effets et leur gravité pour les éléments du compresseur.

En prenant les trois valeurs supérieures (Criticités) du tableau AMDEC qui accompagnent les éléments (joint d'étanchéité. Rotor. sonde) les raisons et les facteurs de leurs défauts sont suggérés comme arbre de défaillance (ADD).

Ces politiques ou méthodes sont très importantes dans le maintien de leur rôle de premier plan pour éviter et réduire les défaillances, éviter un arrêt complet de la machine (interruption du travail et de la production), minimiser les coûts et évaluer la durée de vie de l'équipement.

## Annexe 01

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

**Tableau : DETERMINATION LA VALEUR ( $Dn_{\alpha}$ ) DE TEST (KOLMOGOROV SMIRNO)**



## Annexe 02

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

**Distribution de Wei bull : valeurs des coefficients A et B en fonction du paramètre de forme**

## Bibliographies

- [1] **Cheurfi ABDERRAHIM / Amarache SALIM** Thème " Etude et maintenance du compresseur centrifuge BCL-406 Problème d'encrassements" Université M'hamed Bouguera Boumerdes 2016 / 2017.
- [2] **DOUABA NADJI / BEROUBA SLIMANE** Thème " Analyse analytique FMD et AMDEC d'un compresseur à vis- ATLAS COPCO ZE3-" UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA 2016/2017 .
- [3] **ZITOUNI FATEN** Thème " Etude fiabiliste sur les turbomachines de l'unité d'ammoniac Au niveau FERTIAL –ANNABA" UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA 2016 .
- [4] **BOUKHEZNA MERIEM** Thème "Recherche des facteurs affectant la deterioration de la performance de la ligne d'arbre d'une turbine à vapeur à P.F.D.(sis-u/ammoniac-fertial) " UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA 2017 .
- [5] **BENREZZAK SAMIR** Thème " Étude de la performance d'un Compresseur centrifuge multi-étagés K101 A de la station de Oued Noumer " Université Abou bekr Belkaid – Tlemcen 2011-2012
- [6] **Yacine BELMAZOUZI** Thème " Contribution à la gestion des risques-machines en industries algérienne " L'UNIVERSITÉ DE BATNA 2015 .
- [7] **ENIET CAMEROUN** Cours de STRATEGIE DE MAINTENANCE .
- [8] **Oustani Mebrouk / Nedjaa Mohammed Mokhtar** Thème" ETUDE MAINTENANCE PREVENTIVE D'UN TURBOCOMPRESSEUR PAR ANALYSE DES HUILES " UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA 2013/2014 .
- [9] **TOUMI ouail \ AKERMI** said Thème " Etude Analytique De La maintenance Préventive D'une Turbine à Gaz GE10/2 " UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA 2018/2019 .
- [10] Cours-1-(Etude Des Systèmes).
- [11] **Kassas Bachir** Thème " Application de l'arbre de défaillance « Fault-tree » pour le système du ballon à vapeur au niveau de l'unité Production Ammoniac" UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA 2016-2017 .
- [12] **Mohamed Cherif Embarek** Thème " Développement d'un méthode de control pour l'amélioration de la sureté de fonctionnement des installations industrielles stratégiques " UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA .
- [13] **cours** "L'analyse fonctionnelle " 1 ère année STS Maintenance
- [14] **MAHDI Ismahane** Thème " Analyse qualitative et quantitative de la sûreté de fonctionnement des convertisseurs statiques" UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES 2011/2012 .

- [15] **W. BENZAOUI** Cours " Sûreté de Fonctionnement " Master Académique. Automatique – S3 Université Kasdi Merbah-Ouargla 2014/2015 .
- [16] Polycopie FMD 2013 (Fiabilité Maintenabilité Disponibilité).
- [17] **Taibat Belkassem / Neghmouche Ali Ourabi** Thème "Etude comparative de la fiabilité du Top drive (Canrig) à courant continu et à courant Alternatif " UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA 2014/2015 .
- [18] **ISET Nabeul** cours " Introduction à la maintenance (analyse des défaillances et aide au diagnostic "
- [19] **SLIMANI Lotfi / MOUSSAOUI Nabil** Thème " Elaboration d'un plan de maintenance par la méthode AMDEC de la ligne turbo alternateur de la centrale CEVITAL-Bejaia" UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA-BEJAIA 2015/2016 .
- [20] un mémoire Thème "Optimisation des causes des défaillances de but d'amélioration la rentabilité des machines : Application de la méthode AMDEC ".
- [21] **Chouaib Boutemedjet** Thème " sûreté de fonctionnement et evaluation de performance du system de production du champ gazier de menzel ledjmet east (MLE) " UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES 2015.
- [22] **Samet Henda / Djrida Nabil** Thème " Analyse de fonctionnement de compresseur par l'application de l'AMDEC (compresseur de la mine de Boukhadra)" UNIVERSITE LARBI TEBSSI –TEBESSA 2015-2016.
- [23] Organisation Industrielle TP N° III-4.

## ملخص :

للضواغط أهمية كبيرة جدا في المجال الصناعي وذلك من حيث الدور الهام الذي تلعبه في المصانع بشكل عام، وهو الأمر الذي يستدعي مراقبتها بصفة مستمرة ومنتظمة من اجل ضمان الأداء الجيد واستمرارية الإنتاج. وأثبتت دراستنا ان طريقة ADD فعالة في إيجاد الأسباب الرئيسية للإعطاب كما ل ICHKAWA و AMDEC نتائج جيدة من حيث دراسة هاته الاعطاب وضمان صيانة الضاغط.

كلمات مفتاحية : ADD , ICHKAWA , AMDEC .

## 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 ADD 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 :** ADD, ICHKAWA, AMDEC.

## 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 ADD 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 compresseur.

**Keywords :** ADD, AMDEC, ISHIKAWA.