

الجمهورية الجزائرية
الديمقراطية الشعبية
République Algérienne
Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي
والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique

جامعة غرداية
Université de Ghardaïa

N° d'enregistrement :



كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie
قسم علوم وتكنولوجيا
Département des sciences et technologies
Mémoire de fin d'étude, en vue de l'obtention du diplôme

Master

Domaine: sciences et technologies

Filière: électromécanique

Spécialité: maintenance industrielle

Thème

Etude Analytique de la Maintenance Préventive d'un
compresseur REGATTA 215

Présenté par :

BADJI Abdelhamid & ABDELALI Youcef

Soutenue publiquement le : 20/06/2023

Devant le jury composé de:

CHERIF Salah	MCB	Univ. Ghardaïa	Président
AISSAOUI Faris	MCB	Univ. Ghardaïa	Encadrant
ZITANI Brahim	MAA	Univ. Ghardaïa	Examineur
BELLAOUAR Abderrahmane	Pr	Univ. Ghardaïa	Examineur

Année universitaire : 2022/2023

Dédicace

Ce travail ne l'aurait pas éclairé sans l'aide d'Allah qui est capable de me donner la santé, le courage, la patience, la volonté et la force pour affronter toutes les difficultés et les obstacles de mon cheminement d'études.

Je remercie ma chère mère qui m'a donné tant de courage pour ma réussite. Mon cher père, qui a été un modèle pour moi dans ma vie, Je remercie tous les membres de ma famille (frères, sœurs, oncle et grands-parents)

Je tiens également à remercier mes amis, collègues de l'université pour leur patience et leur soutien tout au long des périodes d'études.

ABDELALI Youcef

Dédicace

Ce travail ne l'aurait pas éclairé sans l'aide d'Allah est capable de me donner la santé, le courage, la patience, la volonté et la force pour affronter toutes les difficultés et les obstacles de mon cheminement d'études.

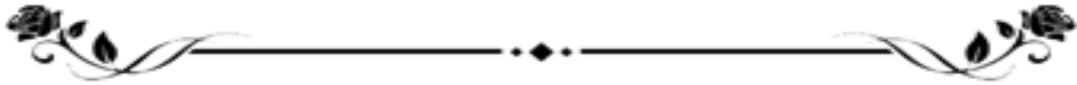
Je remercie ma chère mère qui m'a donné tant de courage pour ma réussite. Mon cher père, qui a été un modèle pour moi dans ma vie.

Je remercie tous les membres de ma famille (frères, oncle et Grands-parents)

Je tiens également à remercier mes amis, collègues de l'université pour leur patience et leur soutien tout au long des périodes d'études.

BADJI Abdelhamid

Remerciements



Nous tenons à remercier

ALLAH

*Le tout puissant de nous avoir donné puissance et
connaissance Pour réaliser ce travail.*

*Nous tenons aussi à exprimer notre profonde gratitude à toute l'équipe de
l'organisme d'accueil*

L'entreprise ALFAPIPE.

*Pour le bon accueil qu'ils nous ont réservé tout au
long du stage et de manière très spéciale nous
exprimons nos chaleureux remerciements et notre
profond respect à notre promoteur*

Eng.HANNAI Yassine

Qui nous a aidés tout au long du stage.

Nous remercions également l'honorable encadrant

M : AISSAOUI Faris

Et les examinateurs : M : CHERIF Salah,

*M : ZITANI Brahim , qui ont Soutenu et
supervisé la discussion de cette thèse et ont donné
leurs précieuses orientations.*

*Et remerciements à tous ceux qui nous ont aidé de loin ou de près à
la réalisation et à la mise au point de ce travail.*



Résumé :

Assurer la maintenance des systèmes industriels est devenue un élément indispensable dès leur conception et leur mise en service, Notre objectif est d'analyser la maintenance du compresseur, en examinant les raisons des divers dommages subis, ainsi que d'évaluer sa fiabilité, sa capacité à être maintenu et sa disponibilité.

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

ملخص :

ضمان صيانة الأنظمة الصناعية أصبح أمراً حيوياً منذ مرحلة تصميمها وتشغيلها، ويشكل جزءاً لا يتجزأ من عملية تشغيلها ، هدفنا هو تحليل صيانة الضاغط عن طريق دراسة أسباب الأضرار المختلفة التي يتعرض لها ، وتقييم مدى موثوقيته وإمكانية الصيانة وتوفره.

كلمات مفتاحية : الفاعلية , الوفرة , قابلية الصيانة , باريتو

Table des matières

Remerciements.....	i
Table des matières.....	ii
Liste des figures.....	vi
Liste des tableaux.....	viii
Notations utilisées.....	x
Introduction générale.....	1

Chapitre I : Présentation de l'unité ALFAPIPE

I.1 Introduction.....	3
I.2 Présentation de l'unité	4
I.2.1 Historique	4
I.2.2 Certifications	5
I.2.3 Domaine d'activité	5
I.2.4 Schéma Générale de L'entreprise D'ALFA PIPE	6
I.2.5 Etude de la production des tubes	7
I.2.6 Entendue de la spécification.....	7
I.2.7 équipements	8
I.2.8 Schéma synoptique du procède de fabrication	9

Chapitre II : Généralité sur les Compresseurs

II.1 Introduction sur les compresseurs.....	10
II.2 Définition	11
II.3 But de la compression.....	11

II.4 Utilisation	12
II.5 Classification des compresseurs	12
II.5.1 Compresseurs volumétriques.....	14
II.5.1.1 Compresseurs alternatifs.....	14
II.5.1.2 Les compresseurs rotatifs.....	16
II.5.2 Compresseurs dynamiques.....	21
II.5.2.1 Les compresseurs axiaux.....	21
II.5.2.2. Les compresseurs centrifuges.....	21
II.6 Domaine d'application et critères de choix des compresseurs	22
II.7 Avantages et les inconvénients de chaque type de compresseur	24
II.8 Compresseur a vis : REGATTA 215	25
II.9 Conclusion	27

Chapitre III : Généralités sur La maintenance

III.1 Introduction	28
III.2 La Maintenance	28
III.2.1 Définition de la maintenance.....	28
III.2.2 Objectifs de la maintenance.....	29
III.2.3 Stratégie de maintenance.....	30
III.2.4 Niveaux de maintenance	30
III.2.5 Différents Types De maintenance.....	31
III.2.5.1 La Maintenance préventive.....	31
III.2.5.1.1 Maintenance conditionnelle.....	31
III.2.5.1.2 Maintenance systématique.....	32
III.2.5.1.3 Maintenance prévisionnelle.....	32
III.2.5.2 La Maintenance corrective	33

III.2.5.2.1 Maintenance palliative (Dépannage)	33
III.2.5.2.2 Maintenance curative	33
III .2.6 Politiques de maintenance.....	33
III.2.7 Opérations de maintenance.....	34
III.3 Etude de la fiabilité	34
III.3.1 Notion de fiabilité d'un système	34
III.3.2 Définition.....	35
III.3.3 Objectifs de la fiabilité.....	35
III.3.4 Principales lois de probabilité utilisées en fiabilité.....	35
III.3.5 Modèle de WEI BULL.....	36
III.3.5.1 Loi de Weibull	37
III.3.6 Étude paramétrique du modèle de WEI BULL.....	40
III.3.7 Estimation des paramètres du modèle de WEI BULL.....	40
III.3.8 maintenabilité.....	43
III.3.8.1. Taux de réparation μ	43
III.3.9 disponibilité.....	44
III.3.9.1 types de disponibilité.....	44
III.4 Loi de Pareto	45
III4.1 Origine de la méthode.....	45
III4.2 Définition et intérêt de la méthode.....	45
III4.3 Méthodologie.....	45
III5 Etude AMDEC	46
III5.1 Présentation.....	46
III5.2 Types d'AMDEC.....	46
III5.3 Terminologie.....	47
III 5.4 La Grille d'AMDEC.....	49
III 5.5 Tableau les indices de défaillance.....	50

III 5.6 Démarche pratique de l'AMDEC.....	50
III 6 Conclusion.....	51
Chapitre IV : Partie Pratique	
IV.1 Exploitation de l'historique	52
IV.2 Application Pratique des méthodes d'analyse.....	54
IV.2.1 Méthode d'analyse prévisionnelle « ABC (Pareto).....	54
IV.2.2 Courbe de Pareto.....	56
IV.2.3 Interprétation des résultats	56
IV.3 Calcul les paramètres de Weibull.....	57
IV.3.1 Courbe de Weibull.....	58
IV.3.2 Test (KOLMOGOROV SMIRNOV).....	58
IV.3.3 Exploitation les paramètres de WEIBULL	60
IV.3.4 Étude de modèle de Weibull.....	61
IV.3.5 Calcul la Maintenabilité du compresseur.....	67
IV.3.6 Calcul la disponibilité du compresseur	68
IV.4 Etude AMDEC.....	70
IV.5 conclusion.....	72
Conclusion générale.....	74
Références bibliographiques	75
Annexe.....	77

Liste des Figure

Figure Chapitre I

Figure (I.01) : Situation Géographique d'ALFAPIPE GHARDAIA.....	3
Figure (I.02) : Situation géographique d'ALFAPIPE GHARDAIA par apport au puits de Hassi Messaoud et Hassi R'mel.....	3
Figure (I.03) : IMAGE SATELLITAIRE DE L'USINE.....	4
Figure (I.04) : CERTIFICAT D'ISO.....	5
Figure (I.05) : Schéma Générale D'ALFA PIPE.....	6
Figure (I.06) : SCHEMA SYNOPTIQUE DU PROCEDE DE FABRICATION.....	9

Figure Chapitre II

Figure (II.01) : Schéma des différent types de compresseur.....	13
Figure (II.02) : Compresseur à piston.....	15
Figure (II.03) : Compresseur à membrane.....	15
Figure (II.04) : compresseur à vis.....	16
Figure (II.05) : Compresseur à palettes.....	17
Figure (II.06) : Ancêtre des machines à palettes.....	18
Figure (II.07) : Compresseur à lobes.....	19
Figure (II.08) : Compresseur à anneau liquide.....	20
Figure (II.09) : Fonctionnement du compresseur à anneau liquide.....	20
Figure (II.10) : Compresseur centrifuge.....	22
Figure (II.11) : Compresseur REGATTA 215.....	25
Figure (II.12) : Principe de fonctionnement des deux rotors du compresseur.....	25
Figure (II.13) : Types de compresseurs en fonction de débit et de la pression.....	27

Figure Chapitre III

Figure (III.01) : Les différents types de maintenance.....	31
Figure (III.02) : Politiques de maintenance.....	33
Figure (III.3) : Courbe en baignoire.....	38
Figure (III.4) Représentation sur graphique à échelle fonctionnelle de la distribution de Weibull (graphique d'Allan Plait).....	41
Figure (III.5) : redressement de la courbe par translation Ce redressement peut se faire par tâtonnement ou avec la relation.....	42

Figure Chapitre IV

Figure La Courbe de Pareto.....	57
Figure (IV.02) : Papier de Weibull.....	58
Figure (IV.03) : Courbe de la densité de la probabilité $f(t)$.....	62
Figure (IV.04) : Courbe fonction de répartition $F(t)$.....	63
Figure (IV.05) : Courbe de la fiabilité.....	65
Figure (IV.06) : Courbe du taux de défaillance.....	66
Figure (IV.07) : Courbe de maintenabilité.....	68
Figure (IV.08) : Courbe de la disponibilité.....	70

Liste des Tableaux

Tableaux Chapitre II

Table (II.01) : Les avantages et les inconvénients de chaque type de compresseur.....	24
Tableau (II.02) : les différents types des compresseurs.....	26

Tableaux Chapitre III

Tableau (III.01) : La grille AMDEK.....	49
Tableau (III.02) : les indices de défaillance.....	50

Tableaux Chapitre IV

Tableau(IV.01) : L'historique de panne de compresseur REGATTA 215.....	53
Tableau (IV.02) : Analyse ABC (Pareto).....	55
Tableau (IV.03) : Fonction de répartition réelle.....	57
Tableau (IV.04): Tableau K-S.....	59
Tableau (IV.05) : Calcul la fonction de la densité de probabilité	62
Tableau (IV.06) : Fonction de répartition.....	63
Tableau (IV.07) : Calcul de la fiabilité.....	64
Tableau (IV.08) : Le taux de défaillance.....	66
Tableau (IV.09) : La Maintenabilité du compresseur.....	67
Tableau (IV.10) : Tableau de disponibilité.....	69
Tableau (IV.11) : Tableaux AMDEC.....	71

Notations utilisées

TTR : Temps de réparation

TBF : Temps de bon fonctionnement

MTTR : Moyenne des temps techniques de réparation.

MTBF : Moyenne des temps de bon fonctionnement

R(t) : Fonction de fiabilité

F(t) : Fonction de défaillances

f (t) : Densité de probabilité

λ (t) : Taux de défaillance

μ : temps de réparation

F : Fiabilité

M : Maintenabilité

D : Disponibilité

β : Paramètre de forme

γ : Paramètre de position

η : Paramètre d'échelle

FMD : Fiabilité Maintenabilité Disponibilité

Introduction Générale

Introduction général

L'entretien régulier des équipements industriels est crucial pour assurer leur bon fonctionnement, leur durabilité et leur rentabilité. Les compresseurs d'air sont des équipements clés dans de nombreuses industries, y compris l'industrie pétrolière et gazière, la production d'électricité et l'industrie manufacturière, entre autres. La maintenance préventive est une stratégie courante utilisée pour minimiser les pannes des équipements et maximiser leur temps de disponibilité.

Dans le cadre de ce mémoire de fin d'études, nous nous intéresserons à l'étude analytique de la maintenance préventive d'un compresseur REGATTA 215. Nous allons examiner les principaux paramètres de fonctionnement de ce compresseur, identifier les principaux problèmes de maintenance qui peuvent survenir et proposer des mesures de maintenance préventive appropriées pour minimiser les temps d'arrêt de l'équipement.

L'objectif principal de cette étude est d'améliorer la fiabilité et la disponibilité du compresseur REGATTA 215, tout en minimisant les coûts de maintenance. Nous aborderons donc les différentes techniques de maintenance préventive, y compris la surveillance conditionnelle, la maintenance basée sur la fiabilité et la maintenance planifiée, et nous évaluerons leur efficacité pour la maintenance du compresseur REGATTA 215.

En fin de compte, cette étude fournira des recommandations pratiques et concrètes pour la maintenance préventive des compresseurs d'air, qui peuvent être appliquées dans diverses industries pour améliorer la fiabilité et la disponibilité des équipements tout en réduisant les coûts de maintenance.

Le présent mémoire est constitué de quatre chapitres :

Chapitre I : Présentation de l'unité ALFA PIPE

Chapitre II : Généralité sur les Compresseurs

Chapitre III : Généralités sur la maintenance

Chapitre IV : Partie pratique

Chapitre I

Présentation de l'unité ALFAPIPE

I.1 Introduction

Nous avons effectué notre stage au sein de l'unité de fabrication des tubes soudés en spirale de l'entreprise ALFA PIPE GHARDAIA. Nous avons choisi cette société qui est située dans la zone industrielle de Bounoura à Ghardaia, à 10 km de la capitale de la région. L'usine occupe une superficie de 23000m² et compte en moyenne 500 employés.

Son domaine d'expertise se concentre sur la fabrication et la vente de tubes soudés en forme de spirale utilisés pour la création de pipelines (gazoducs, oléoducs), ainsi que pour les projets liés aux réseaux de distribution d'eau et aux travaux d'infrastructure.



Figure (I.01) : Situation géographique d'ALFAPIPE GHARDAIA [1].



Figure (I.02) : Situation géographique d'ALFAPIPE GHARDAIA par rapport au puits de Hassi Messaoud et Hassi R'mel [11].

I.2 Présentation de l'unité

I.2.1 Historique

Les puits de pétrole et de gaz à proximité de Hassi R'mel et Hassi Massoud ne peuvent pas être desservis uniquement par la tuberie spiral à Ghardaïa, ce qui ne répond pas aux importants besoins de transport d'hydrocarbures de SONATRACH. Il est donc nécessaire de créer une deuxième unité similaire à la première.

En avril 1974, une citoyenne allemande a entamé la construction de l'unité, qui a ensuite commencé sa production en 1977. Cette unité avait une capacité annuelle de 120 000 tonnes, équivalente à 375 km de tubes d'un diamètre de 42 pouces.

Les équipements présents dans cette usine ont la capacité de fabriquer des tubes dont le diamètre varie de 16 à 64 pouces, l'épaisseur se situe entre 7,92 et 15 mm, et la longueur est comprise entre 7 et 13 mètres.

Les bobines sont acheminées par train de Annaba à Touggourt, où elles sont entreposées dans un entrepôt pouvant contenir jusqu'à 40000 tonnes, avant d'être transportées par camion SNTR jusqu'à GHARDAIA (350 km). Ce transport est mis en place afin de résoudre un problème de congestion qui perturbe parfois les paramètres de production.



Figure (I.03) : IMAGE SATELLITAIRE DE L'USINE [2]

I.2.2 Certifications

ALFA PIPE sont certifiées specQ1, API 5L / et ISO 9001 depuis l' année 2001. [2]



Figure (I.04) : CERTIFICAT D'ISO

I.2.3 Domaine d'activité

L'objectif de l'entreprise ALFAPIPE est de convertir les rouleaux et les produits plats en tubes en spirale afin de permettre le transport de pétrole, de gaz, d'eau et d'autres liquides à haute pression.

- **pipeline**
 - oléoducs (transport du pétrole).
 - gazoducs (transport du gaz).
- **hydraulique**
 - transport d'eau.
 - alimentation en eau potable.
 - infrastructure hydraulique.
 - assainissement.
 - drainage.
 - soutien puits.

I.2.4 Schéma Générale de L'entreprise D'ALFA PIPE

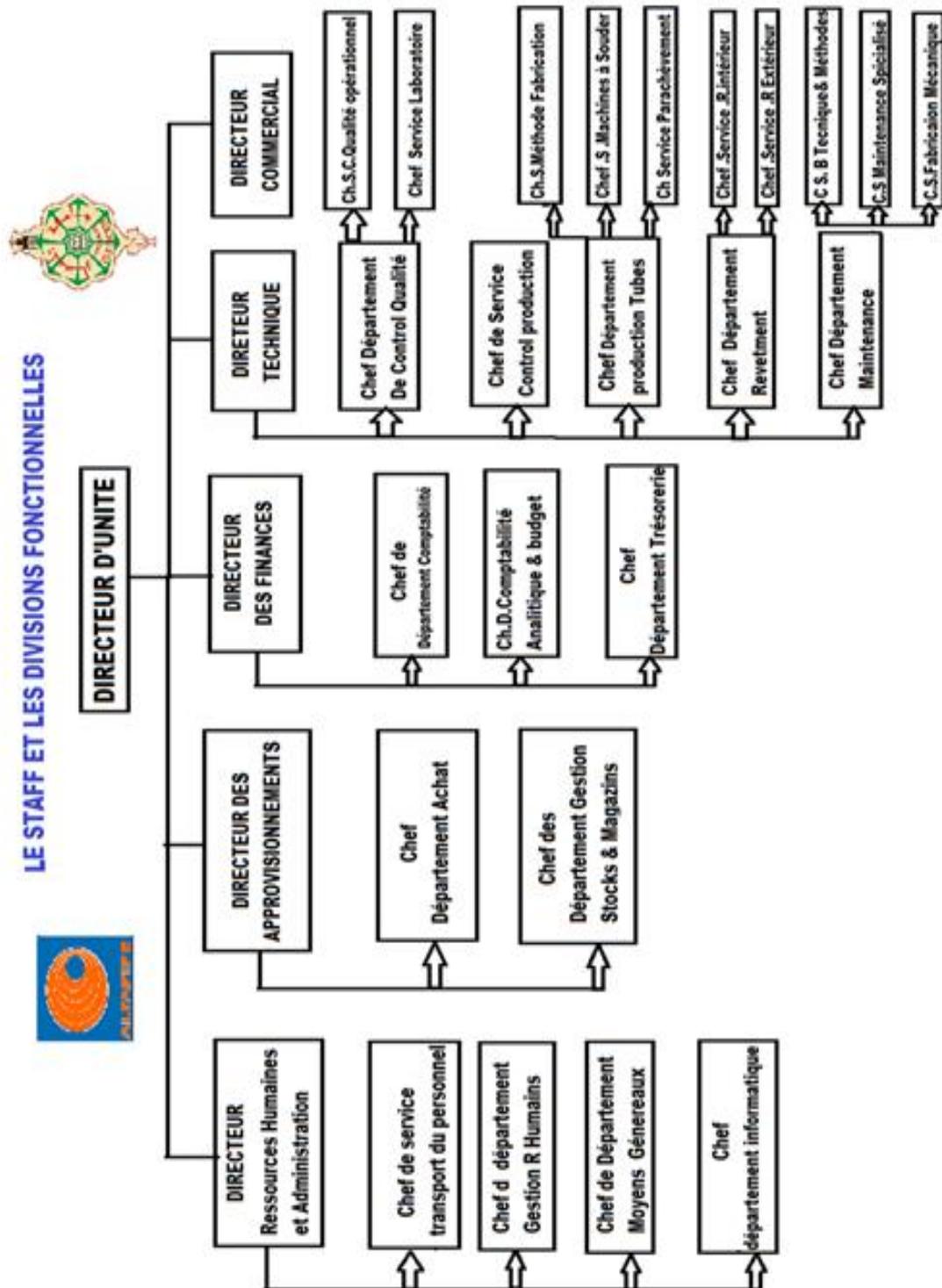


Figure (I.05) : Schéma Générale D'ALFA PIPE [13]

I.2.5 Etude de la production des tubes

Les machines présentes dans l'usine ont la capacité de fabriquer des tubes dont le diamètre varie de 16 à 64 pouces, tandis que la nouvelle machine peut produire des tubes de 20 à 80 pouces. En ce qui concerne l'épaisseur, les machines existantes peuvent produire des tubes de 7 mm à 16 mm, tandis que la nouvelle machine peut fabriquer des tubes de 6,34 mm à 25,4 mm. La longueur maximale des tubes est de 13 mètres, et ils sont fabriqués à partir de bobines d'acier d'une nuance allant de X35 à X70. [2]

I.2.6 Entendue de la spécification

Les exigences techniques énoncées dans cette spécification définissent les critères nécessaires pour la production, le contrôle (destructif et non destructif) et la fourniture de tubes en acier utilisés dans la construction de structures de transport d'hydrocarbures pour des environnements non corrosifs. L'usine de fabrication des tubes doit être certifiée conformément aux normes API Q1, API et ISO. Les tubes sont produits en respectant la norme API 5L 44ème édition, ainsi que les spécifications techniques spécifiques du client. Le respect du règlement algérien de sécurité pour les canalisations de transport d'hydrocarbures [12] est également requis.

I.2.7 Les équipements

Pour fabriquer des tubes en spirale, ALFA PIPE doit faire appel à des employés hautement qualifiés et disposer d'équipements de grande taille. Ainsi, ALFA PIPE possède les équipements suivants :

Les machines utilisées pour préparer les bobines.

- Quatre machines de soudage (étant considérées comme anciennes machines)
- Une nouvelle machine de soudage.
- Deux zones dédiées à la reprise de soudure.
- Des contrôles radioscopiques et radiographiques.
- Une installation de chanfreinage.
- Un banc d'essai hydrostatique.
- Une installation de revêtement extérieur.
- Une installation de revêtement intérieur.
- Des convoyeurs qui assurent le déplacement des tubes.
- Il existe des grues mobiles adaptées à différentes charges, telles que 15 tonnes et 34 tonnes.

Des différents ateliers et des laboratoires :

- Atelier d'usinage.
- Un atelier de chaudronnerie.
- Un atelier électrique et mécanique.
- Un laboratoire mécanique et chimique.
- Un laboratoire électronique. [2]

I.2.8 Schéma synoptique du procédé de fabrication

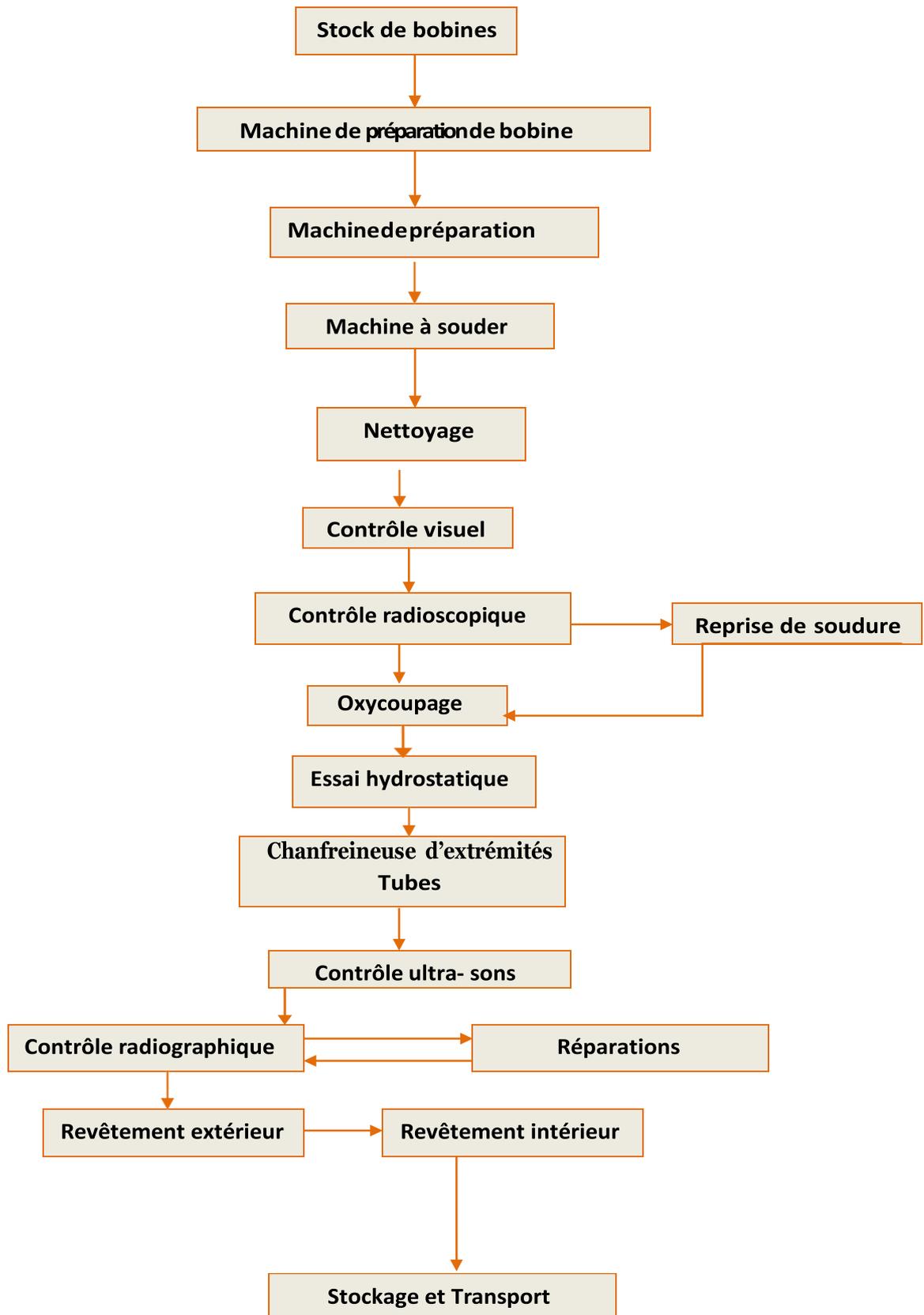


Figure (I.06) : SCHEMA SYNOPTIQUE DU PROCEDE DE FABRICATION [13]

Chapitre II

Généralité sur les Compresseurs

II.1 Introduction sur les compresseurs

Les compresseurs sont des équipements mécaniques largement utilisés dans de nombreuses industries pour comprimer les gaz à haute pression. Ils sont utilisés pour diverses applications, notamment la production d'énergie, l'industrie pétrochimique, la production de gaz naturel, la production d'air comprimé, la climatisation, la réfrigération et bien d'autres encore.

Leur fonctionnement est basé sur le principe de la compression du gaz, qui peut être obtenu de différentes manières, selon le type de compresseur utilisé. Les compresseurs peuvent être classés en deux grandes catégories : les compresseurs volumétriques et les compresseurs dynamiques. Les compresseurs volumétriques compriment le gaz en réduisant le volume à l'aide d'un piston, d'un diaphragme ou d'une vis, tandis que les compresseurs dynamiques utilisent la vitesse de rotation d'un rotor pour comprimer le gaz.

Le choix du type de compresseur dépend de la pression requise pour l'application spécifique. Les compresseurs sont disponibles dans une variété de tailles et de capacités pour répondre à une large gamme de besoins industriels.

L'entretien régulier des compresseurs est crucial pour garantir leur efficacité et leur fiabilité. Une maintenance préventive est nécessaire pour prolonger la durée de vie du compresseur et éviter les pannes coûteuses. En effet, les compresseurs sont soumis à de fortes contraintes mécaniques et à des conditions d'utilisation difficiles, ce qui peut entraîner une usure prématurée des composants et des défaillances.

En résumé, les compresseurs sont des équipements clés dans de nombreuses industries. Ils permettent de compresser les gaz à haute pression et sont disponibles dans une variété de types et de tailles pour répondre à une large gamme de besoins. La maintenance préventive est essentielle pour assurer leur efficacité et leur fiabilité à long terme.

II.2 Définition

Un compresseur est un équipement mécanique qui permet de comprimer un fluide (gaz ou air) en augmentant sa pression et son énergie cinétique. Le but principal de la compression est de stocker l'énergie dans le fluide, ce qui permet ensuite de l'utiliser pour différentes applications telles que la production d'énergie électrique, la climatisation, la réfrigération, la pulvérisation, etc. Les compresseurs sont largement utilisés dans l'industrie, l'agriculture, le transport et les bâtiments. Il y a diverses catégories de compresseurs, et chacune présente ses propres atouts et limitations selon l'usage précis.

II.3 But de la compression

Le but principal de la compression est d'augmenter la pression d'un fluide (gaz ou air) en réduisant son volume. Cette augmentation de pression permet de stocker l'énergie dans le fluide, qui peut ensuite être utilisée pour différentes applications telles que la production d'énergie électrique, la climatisation, la réfrigération, la pulvérisation, etc. La compression est également utilisée pour transporter des gaz à haute pression sur de longues distances, pour faciliter leur stockage et leur distribution. En somme, le but de la compression est de convertir l'énergie mécanique en énergie potentielle dans le fluide comprimé, ce qui permet de l'utiliser efficacement pour différentes applications.

II.4 Utilisation

En général, la compression peut être motivée par la nécessité technique de déplacer une quantité spécifique de gaz d'un système à une pression déterminée vers un autre système présentant une pression plus élevée. L'objectif de cette opération est le suivant :

- Maintenir la circulation d'un gaz dans un circuit fermé.
- Créer les conditions de pression appropriées pour des réactions chimiques.
- Transporter un gaz à travers un pipeline, de la zone de production à l'utilisateur final.
- Produire de l'air comprimé pour la combustion.
- Extraire du gaz des installations de G.N.L ou d'autres unités. [4]

II.5 Classification des compresseurs

Il est possible de classer les compresseurs en fonction de plusieurs critères :

- Leur principe de fonctionnement (volumétrique ou dynamique) ;
- Le type de mouvement des pièces mobiles (linéaire ou rotatif) ;
- Les compresseurs d'air ;
- Les compresseurs de gaz.

En général il existe deux grandes familles de compresseur (Figure II.01), [3]

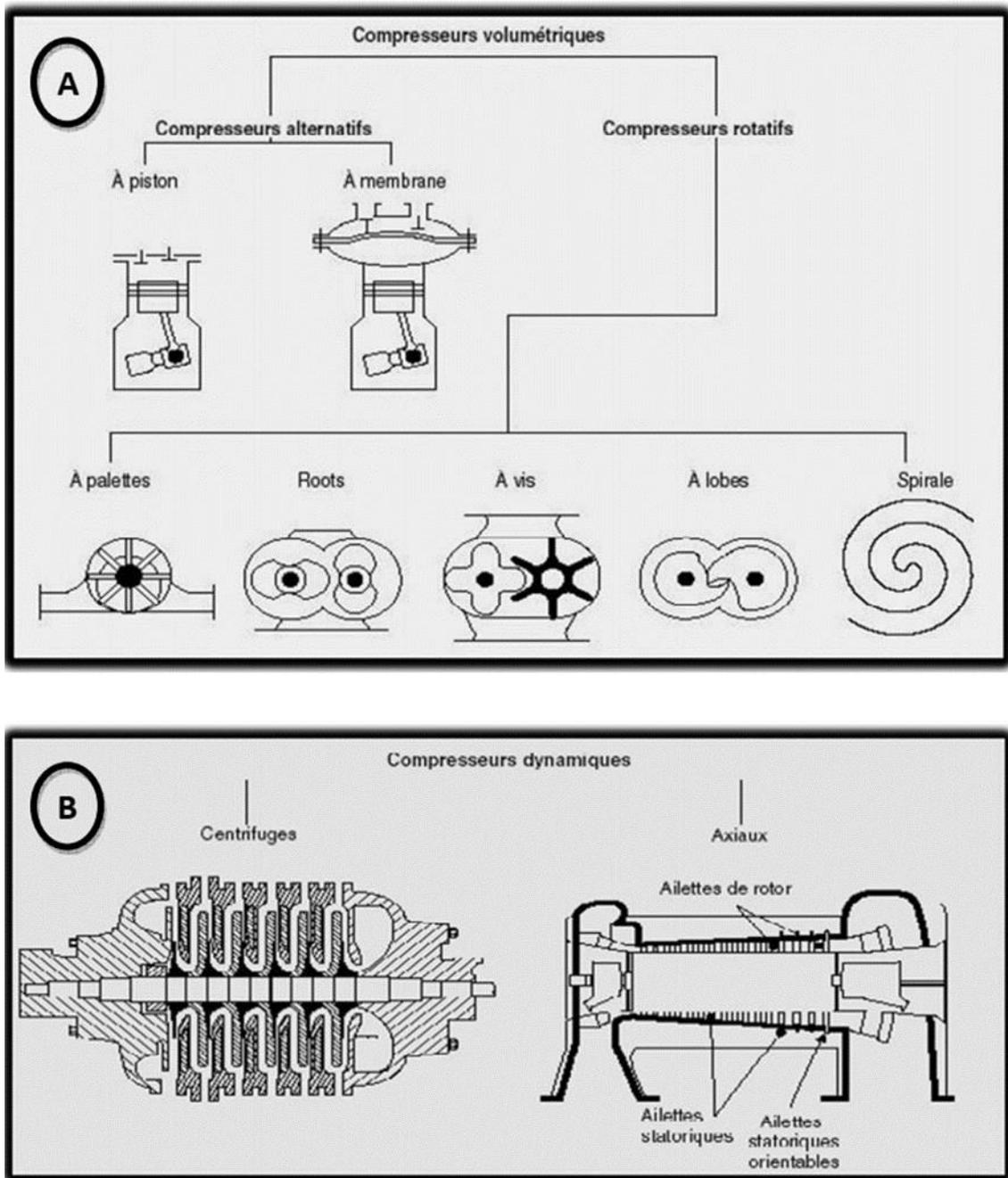


Figure (II.01) : Schéma des différents types de compresseur, [5]

II.5.1 Compresseurs volumétriques

L'utilisation des compresseurs volumétriques est une manifestation concrète de la loi de Boyle Mariotte.

Ces compresseurs accroissent la pression de l'air en capturant progressivement des volumes d'air dans un espace clos, tout en réduisant cet espace.

Les types de compresseurs qui exploitent ce principe de fonctionnement sont les compresseurs à pistons, à palettes, à vis et à anneau. [6]

II.5.1.1 Compresseurs alternatifs

Le gaz est inséré dans un espace restreint délimité par des parois métalliques telles qu'un cylindre et un piston. Lorsque l'espace disponible pour le gaz diminue (le piston se déplace vers l'avant), cela entraîne une augmentation de la pression. Lorsque la pression atteint celle du circuit haute pression, le gaz est expulsé.

On peut identifier deux types :

- Les compresseurs à piston : (système bielle-manivelle ; système à barillet)
- Compresseur à membrane. [4]

a. Compresseurs à piston

Les compresseurs effectuent la compression du gaz en réduisant le volume qui lui est accordé. Le gaz subit une variation de volume et est déplacé grâce au mouvement alternatif d'un piston à l'intérieur d'un cylindre.

Les compresseurs à piston sont classés en fonction de différents critères :

- La Disposition des cylindres (horizontale, verticale) ;
- Le Nombre des cylindres (monocylindrique, ...) ;
- La Méthode de refroidissement (air, eau);
- La méthode de lubrification (barbotage, sous pression, ...). [4]

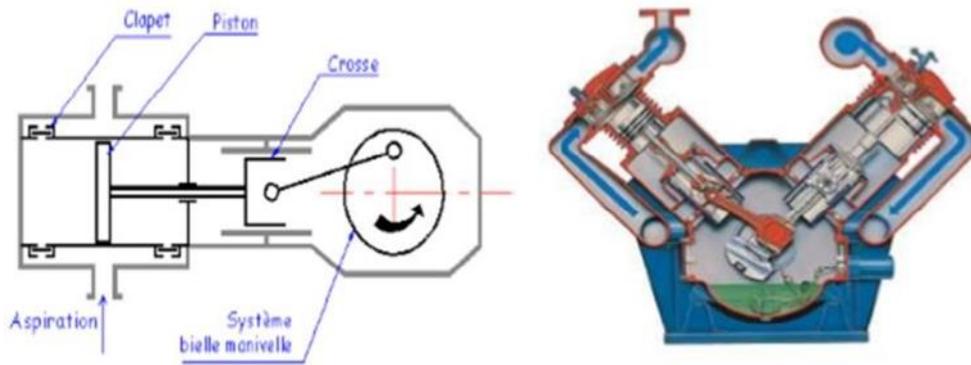


Figure (II.02) : Compresseur à piston [5]

b. Compresseur à membrane

Le gaz est inséré dans un espace restreint délimité par des parois métalliques (cylindre et piston).

L'espace disponible pour le gaz est réduit (le piston se déplace vers l'avant) et, par conséquent, la pression augmente. Lorsque la pression atteint celle du circuit à haute pression, le gaz est expulsé. [3]

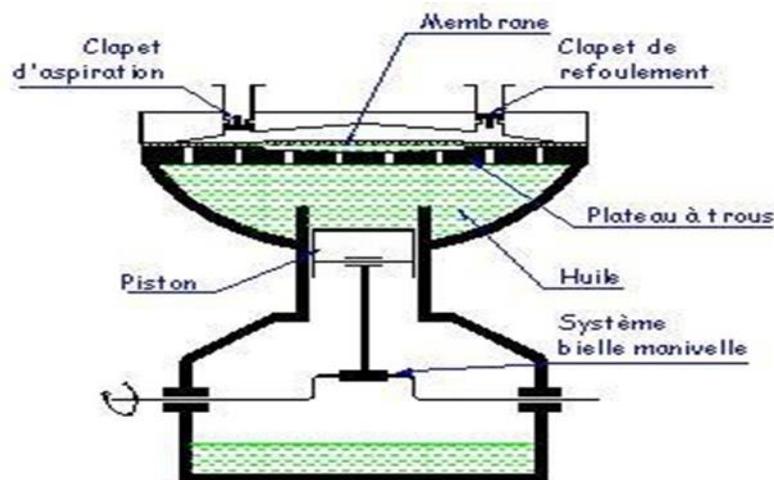


Figure (II.03) : Compresseur à membrane [3]

II.5.1.2 compresseurs rotatifs

Ils sont de plusieurs types :

Un espace restreint est créé entre le compresseur lui-même et une partie mobile (palettes, lobes, vis) et le gaz introduit.

- Le gaz est acheminé de l'admission vers le refoulement.
- Il entre en contact avec le circuit haute pression. [3]

a. Compresseur à vis

Le compresseur à vis, qui est largement utilisé de nos jours, est un type de compresseur volumétrique où les pistons prennent la forme de vis. L'élément de compression à vis se compose essentiellement d'un rotor mâle et d'un rotor femelle en rotation l'un par rapport à l'autre, ce qui permet de réduire le volume entre eux ainsi que celui du carter du compresseur. Le rapport de pression d'une vis est influencé à la fois par la longueur et le profil de la vis, ainsi que par la forme de l'orifice de refoulement.

Contrairement aux autres types de compresseurs, l'élément de compression à vis ne possède pas de soupape et ne crée aucun déséquilibre mécanique. [6]

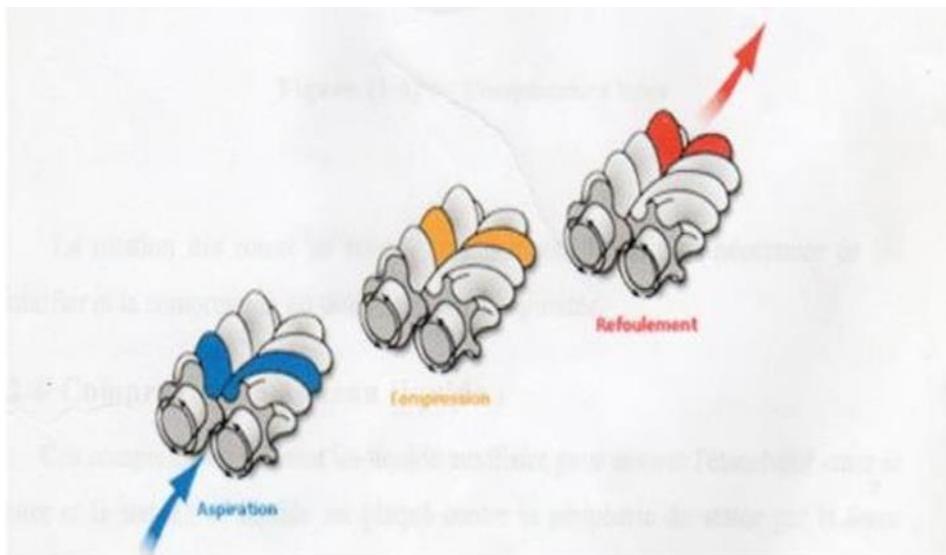


Figure (II.04) : compresseur à vis [6]

a.1. Les types des compresseurs à vis

Les compresseurs à vis sont des compresseurs volumétriques qui utilisent deux rotors hélicoïdaux pour comprimer l'air ou le gaz. Il y a deux type des compresseurs à vis :

- Compresseur à vis lubrifiées : Ces compresseurs utilisent de l'huile pour lubrifier les rotors et les paliers. L'huile aide également à refroidir l'air comprimé et à étanchéifier les espaces entre les rotors et les parois de la chambre de compression.
- Compresseur à vis sans huile : Ces compresseurs utilisent des matériaux spéciaux et des revêtements pour éviter la nécessité de lubrification à l'huile. Ils sont généralement plus chers que les compresseurs à vis lubrifiées mais nécessitent moins de maintenance.

B. Compresseur à palettes

Principe de fonctionnement

Dans un cylindre et autour d'un axe excentré tourne un rotor tangent au cylindre et pourvu de palettes radiales qui coulissent librement dans leur logement et sont constamment appliquées sur la paroi par la force centrifuge (Figure II.05). [8]

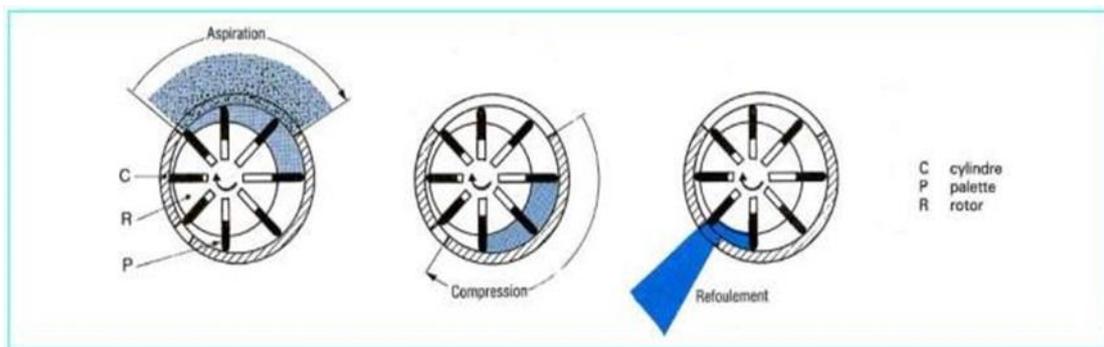


Figure (II.05) : Compresseur à palettes [8]

- Le volume compris entre deux palettes consécutives est variable.

On distingue trois phases :

a. l'aspiration : Le volume de la cellule de compression, située entre deux palettes successives juste après la zone de contact avec le générateur, se remplit de gaz au fur et à mesure de la rotation, passant d'une valeur nulle à son maximum de manière progressive.

b. la compression : Le gaz est comprimé lorsque le volume de la cellule de compression entre les deux palettes diminue de manière constante.

c. le refoulement : La cellule de compression est positionnée en amont des orifices de décharge, permettant ainsi au gaz comprimé de s'échapper dans le collecteur de sortie. [8]

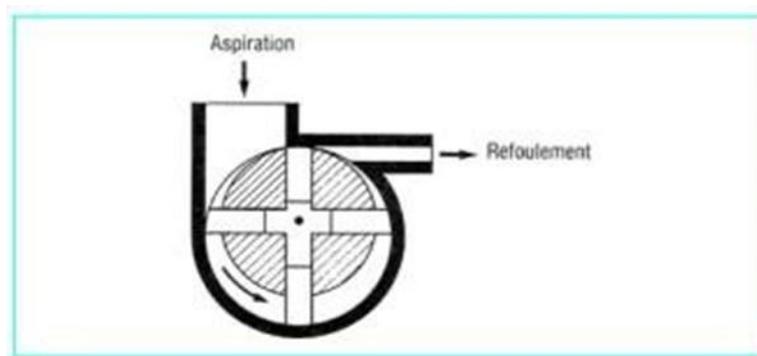


Figure (II.06) : Ancêtre des machines à palettes [8]

C. Compresseur à lobes (ROOTS)

Pour ce genre de compresseur, le rotor se compose de deux lobes qui s'emboîtent l'un dans l'autre, formant une sorte de figure en huit. Les rotors sont tournés de manière synchronisée grâce à des engrenages externes, sans qu'il y ait de friction entre eux ni avec le boîtier.

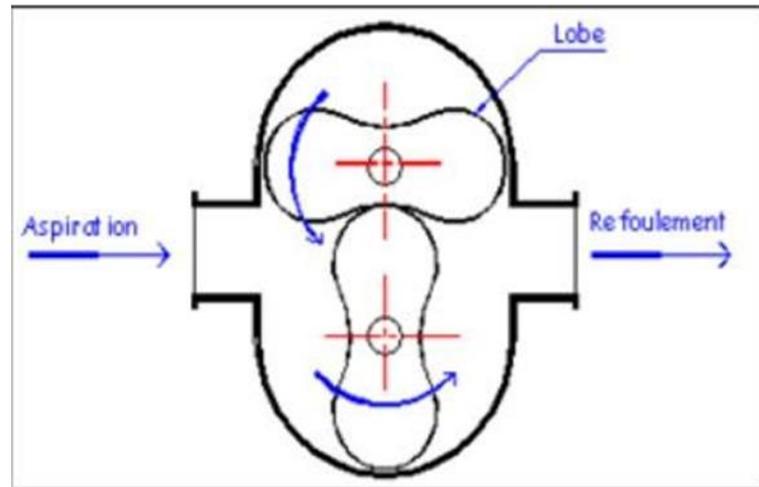


Figure (II.07) : Compresseur à lobes [4]

Le gaz à transporter est introduit dans le conduit d'aspiration et est ensuite poussé avec force du côté de l'évacuation. Comme les rotors tournent sans entrer en contact, il n'est pas essentiel de les graisser, ce qui permet d'éviter toute contamination lors de la compression. [6]

D. Compresseur à anneau liquide

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

Un étage de compression est composé des quatre éléments suivants :

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

Le fonctionnement du compresseur est illustré par la figure ci-dessous. [6]

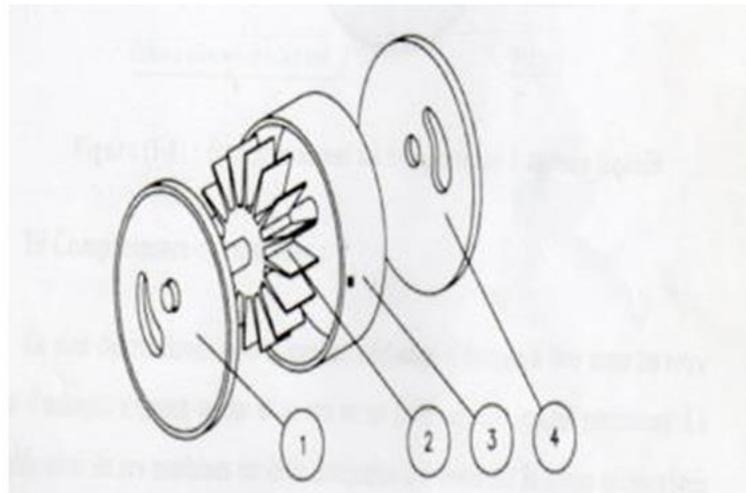


Figure (II.08) : Compresseur à anneau liquide [6]

Un anneau concentrique est formé autour du corps par un liquide auxiliaire, tandis que la roue est décentrée. Entre les deux ailettes et l'anneau liquide, des espaces de volumes variables sont créés. Selon la direction de rotation de la roue, la zone d'aspiration de lumière est positionnée devant des espaces de plus en plus grands, ce qui crée une dépression et permet l'aspiration du gaz. Ce gaz est ensuite transporté (étant piégé entre les deux ailettes et le liquide) vers la zone de refoulement de lumière, où des espaces de plus en plus petits sont présents. Cela provoque une compression et permet le refoulement du gaz comprimé.

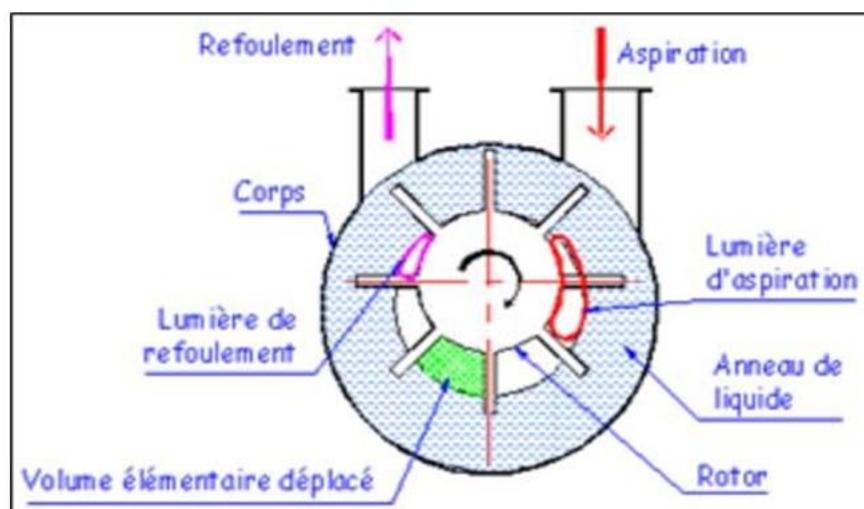


Figure (II.09) : Fonctionnement du compresseur à anneau liquide [4]

II.5.2 Compresseurs dynamiques

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

II.5.2.1 Compresseurs axiaux

Les compresseurs axiaux fonctionnent sans refroidissement, ce qui signifie que la compression s'effectue sans transfert de chaleur vers l'extérieur.

Ces machines sont des dispositifs qui reçoivent un flux de fluide compressible selon une direction axiale. Elles sont employées dans les turbines de grande puissance ainsi que dans les turboréacteurs utilisés en aviation. Ces machines se distinguent par leur nombre élevé d'étages et un taux de compression relativement bas. [3]

II.5.2.2. Compresseurs centrifuges

Le compresseur centrifuge, représenté sur la figure II .10, est une machine "dynamique" qui assure un écoulement continu du fluide. Il est composé de roues qui sont reliées à l'arbre et qui lui fournissent de l'énergie. Une partie de cette énergie est convertie en augmentation de la pression dans les roues elles-mêmes, tandis que le reste est transformé dans le stator, c'est-à-dire dans le diffuseur.

La composition de cette machine comprend un boîtier externe qui renferme la section fixe appelée ensemble de diaphragmes (B), où se trouve un rotor composé d'un arbre (C), d'une ou plusieurs roues (D), d'un piston d'équilibrage (E) et du collet (F) du palier de butée.

Le rotor est mis en mouvement par la machine motrice en passant par le moyeu (G) et se déplace sur les paliers porteurs (H), tout en étant maintenu dans sa position axiale par le palier de butée (I). Des dispositifs de labyrinthe d'étanchéité (L) et, si besoin est, des joints d'extrémité à l'huile agissent sur le rotor. [3]

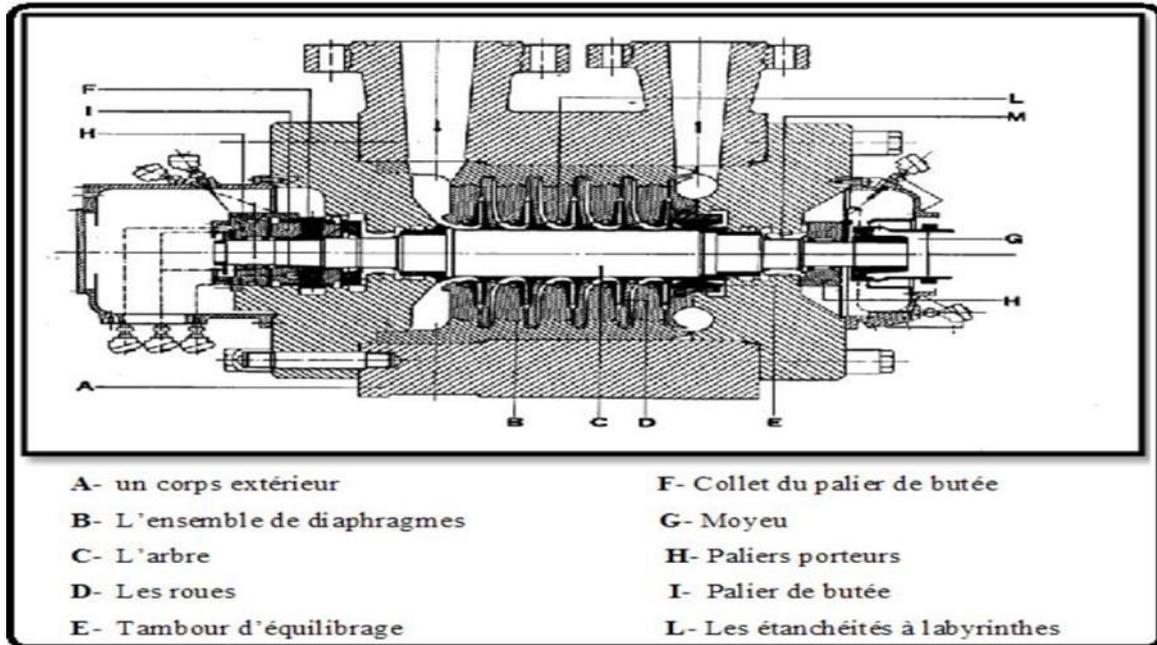


Figure (II.10) : Compresseur centrifuge [9]

II.6 Domaine d'application et critères de choix des compresseurs

Les compresseurs sont utilisés dans de nombreux domaines tels que l'industrie chimique, pétrochimique, alimentaire, pharmaceutique, électronique, de l'énergie et de l'air comprimé. Le choix d'un compresseur dépend de plusieurs critères, notamment :

- Débit d'air requis : cela détermine la capacité du compresseur nécessaire pour répondre aux besoins de l'application.
- Pression requise : cela détermine la pression maximale que le compresseur doit être capable de fournir.
- Type de gaz : certains gaz sont plus difficiles à compresser que d'autres, ce qui peut nécessiter un compresseur spécialement conçu pour cette application.

- Conditions de fonctionnement : il est important de prendre en compte la température et l'humidité de l'environnement dans lequel le compresseur fonctionnera.
- Coût d'exploitation : le coût énergétique, de maintenance et de réparation doit être pris en compte pour déterminer le coût total d'exploitation du compresseur.
- Fiabilité et durabilité : la fiabilité et la durabilité du compresseur sont des critères importants pour minimiser les temps d'arrêt et les coûts de maintenance.

En fonction de ces critères, différents types de compresseurs peuvent être sélectionnés pour répondre aux besoins spécifiques de l'application.

II.7 Les avantages et les inconvénients de chaque type de compresseur

Table (II.01) : Les avantages et les inconvénients de chaque type de compresseur. [5]

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

II.8 Compresseur a vis : REGATTA 215



Figure (II.11) : Compresseur REGATTA 215

Principe de fonctionnement d'un compresseur à vis

Le compresseur à vis fonctionne selon un principe simple. Il est composé d'un rotor mâle et d'un rotor femelle avec des dents hélicoïdales. Les deux rotors, qui tournent à grande vitesse dans des directions opposées, entraînent et compriment l'air. De cette manière, l'air est continuellement transporté le long de la vis, depuis l'orifice d'admission jusqu'à l'orifice de sortie.

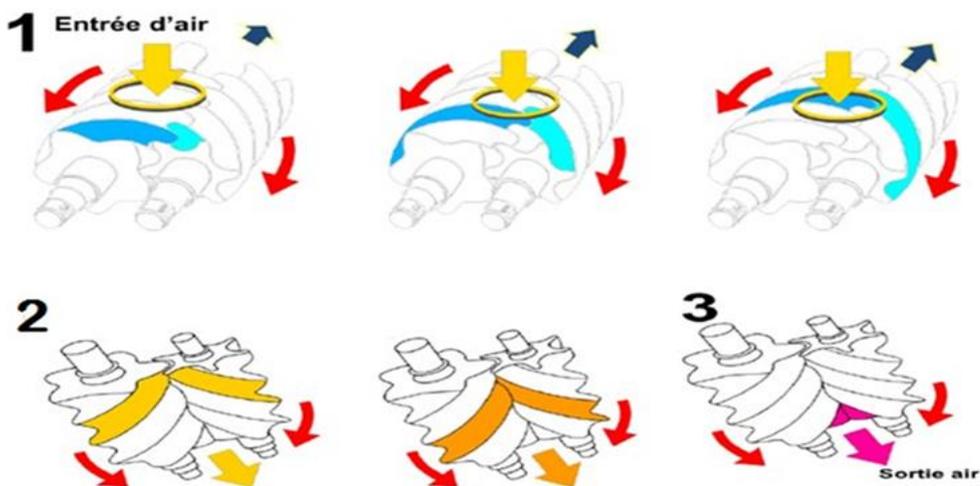


Figure (II.12) : Principe de fonctionnement des deux rotors du compresseur [18]

1. Aspiration : L'air pénètre à travers l'entrée d'aspiration et circule à travers les spires des rotors ouverts du côté d'aspiration.

2. Compression : L'orifice d'admission d'air se referme à mesure que les rotors tournent progressivement, ce qui entraîne une diminution du volume et une augmentation de la pression. Pendant cette opération, de l'huile est injectée.

3. Evacuation : La compression a été finalisée, la pression finale a été atteinte, et le processus de refoulement débute.

Comparaison du compresseur à vis et les autres types des compresseurs

Tableau (II.02) : les différents types des compresseurs [22]

Types		movement linéaire	mouvement rotatif	Débit	Pression	Rendement
volumétrique	Compresseur à piston	+		Faible à moyen	Elevée	Très bon
	Compresseur à membrane	+		Faible		
	Compresseur à vis		+	Faible	Moyenne	Faible
	Compresseur à palettes		+	Faible	Basse	Faible
Dynamique	Centrifuge		+	Important	Elevée	Très bon
	Axial		+	Très important	Basse	Très bon

Types du compresseurs en fonction de débit et de la pression

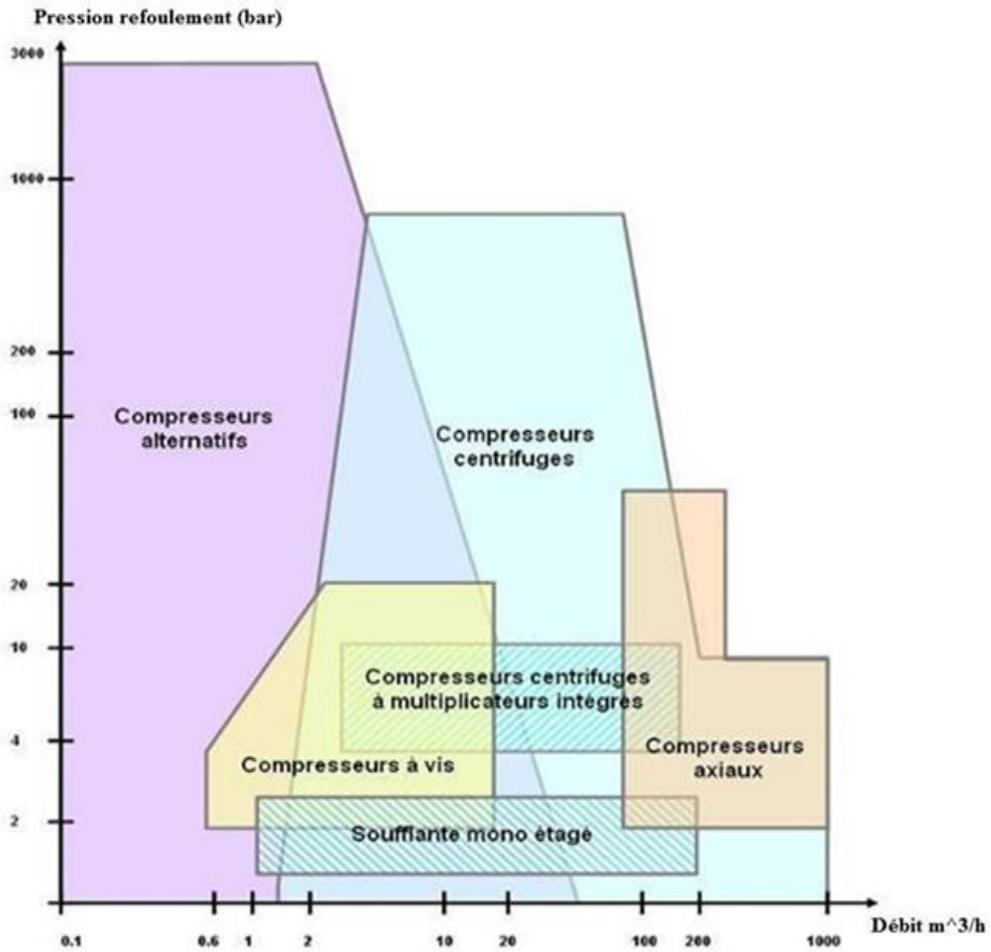


Figure (II.13) : Types de compresseurs en fonction de débit et de la pression [23]

II.9 Conclusion

En règle générale, la compression peut être utilisée par obligation technique afin de transférer une quantité donnée de gaz d'un système à une pression déterminée vers un autre système à une pression plus élevée.

Chapitre III

Généralités sur La maintenance

III.1 Introduction

La maintenance est un ensemble d'actions visant à maintenir, réparer ou remplacer des équipements, des machines ou des infrastructures afin de garantir leur bon fonctionnement et leur pérennité. Elle est essentielle pour assurer la disponibilité, la fiabilité et la sécurité des équipements et des installations, ainsi que pour éviter les arrêts de production, les pannes coûteuses et les accidents de travail. La maintenance peut être corrective, préventive ou prédictive, selon qu'elle intervient après une panne, à intervalles réguliers ou en fonction des données de surveillance et de mesure. Elle peut être réalisée en interne par le personnel de maintenance ou externalisée à des prestataires spécialisés. La maintenance est donc un enjeu majeur pour de nombreuses entreprises et organisations, qui doivent veiller à allouer les ressources nécessaires pour assurer la performance et la durabilité de leurs équipements.

III.2 Maintenance

III.2.1 Définition de la maintenance

La norme AFNOR X 60-000 définit la maintenance comme l'ensemble des 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. Elle comprend notamment la maintenance corrective, préventive, conditionnelle et la maintenance améliorative. La norme vise à définir un cadre méthodologique pour la gestion de la maintenance et à en assurer la qualité et la performance. Elle s'applique à tous les types de biens, qu'ils soient matériels ou immatériels, et à tous les secteurs d'activité.

III.2.2 Objectifs de la maintenance

Les objectifs de la maintenance sont multiples et peuvent varier en fonction de l'entreprise et de son activité. Cependant, certains objectifs communs peuvent être identifiés :

- Assurer la disponibilité des équipements : l'objectif principal de la maintenance est de garantir la disponibilité des équipements pour leur utilisation. Cela implique de planifier des interventions de maintenance préventive pour éviter les pannes et les temps d'arrêt imprévus.
- Prolonger la durée de vie des équipements : la maintenance préventive permet également de prolonger la durée de vie des équipements en effectuant des interventions régulières pour éviter l'usure prématurée.
- Améliorer la sécurité : la maintenance peut également contribuer à améliorer la sécurité en vérifiant régulièrement l'état des équipements pour éviter les accidents.
- Réduire les coûts : la maintenance préventive peut également permettre de réduire les coûts en évitant les réparations coûteuses et en prolongeant la durée de vie des équipements.
- Assurer la qualité : la maintenance peut contribuer à maintenir la qualité des produits ou des services en veillant à ce que les équipements fonctionnent correctement et de manière fiable.
- Respecter les normes : la maintenance peut également être nécessaire pour respecter les normes en matière de sécurité, de qualité ou d'environnement.

III.2.3 Stratégie de maintenance (normes NF EN 13306 & FD X 60-000)

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

La sélection des stratégies de maintenance vise à accomplir divers objectifs dans le domaine de la maintenance :

- Développer, adapter ou mettre en œuvre des méthodes de maintenance.
- Élaborer et améliorer les gammes de maintenance.
- Organiser les équipes de maintenance.
- Partiellement ou complètement internaliser ou externaliser les tâches de maintenance.
- déterminer, superviser et améliorer les niveaux de stock des pièces de rechange et des consommables tout en préservant leur efficacité.
- Analyser les conséquences économiques (délai de récupération des investissements) liées à la modernisation ou à l'amélioration de l'équipement de fabrication en termes d'efficacité et de facilité de maintenance. [14]

III.2.4 Niveaux de maintenance

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

- niveau 1 : réglages simples sans démontage , rondes ,surveillance pendant la marche.
- niveau 2 : dépannage par échange standard des composants prévus à cet effet et opérations mineures.
- niveau 3 : identification, diagnostic de pannes et réparation ou remplacement d'éléments fonctionnels.
- Niveau 4 : travaux de maintenance corrective / préventive nécessitant des démontages importants.
- niveau 5 : rénovation, reconstruction, modifications importantes faisant appel à une main-d'oeuvre qualifiée. [15]

III.2.5 DIFFERENTS TYPES DE MAINTENANCE

Dans la définition de la maintenance, nous trouvons deux mots-clés : maintenir et rétablir. Le premier fait référence à une action préventive. Le deuxième fait référence à l'aspect correctif (voir figure III.01).

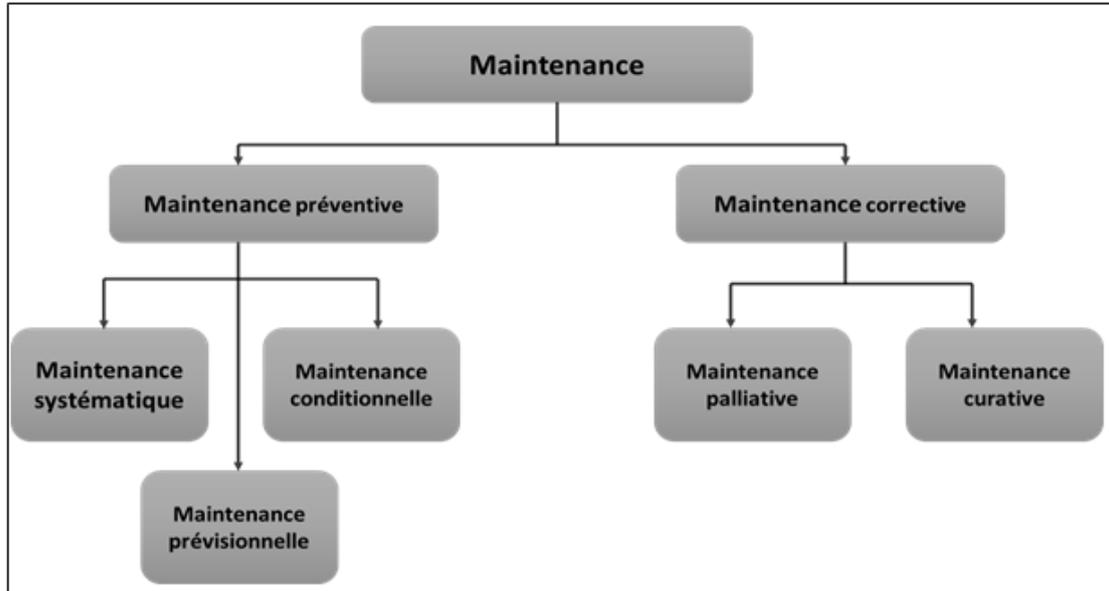


Figure (III.01) : Les différents types de maintenance [16]

III.2.5.1 La Maintenance préventive

Elle doit permettre d'éviter les défaillances des matériels en cours d'utilisation. Selon l'AFNOR : « La maintenance préventive est une maintenance ayant pour objet de réduire la probabilité de défaillance ou de dégradation d'un bien ». La maintenance préventive se subdivise en trois types :

III.2.5.1.1 Maintenance conditionnelle

D'après la norme AFNOR X 60-100, la maintenance conditionnelle se définit comme une maintenance préventive subordonnée à un type d'évènement prédéterminé (auto diagnostic, information d'un capteur, mesure d'une usure), révélateur de l'état de dégradation du bien

Ce type de maintenance comprend toutes les tâches de restauration de matériels ou de composants non défaillants, entreprise en application d'une évaluation d'état et de la comparaison avec un critère d'acceptation préétabli (défaillance potentielle) Elle est liée à la surveillance et au diagnostic du système et n'entraîne l'action de réparation que si une panne (présente ou future) est détectée [16].

III.2.5.1.2 Maintenance systématique

Selon la norme AFNOR X 60-100, on entend par maintenance systématique la pratique consistant à « une maintenance effectuée selon des critères prédéterminés dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ».

La méthode initiale préférée est la maintenance systématique, car elle ne nécessite pas une analyse complexe. Elle comprend des arrêts réguliers de la machine, où les composants sont démontés, vérifiés et remplacés de manière systématique. La date de l'arrêt est déterminée soit par l'expérience, soit en prenant en compte des considérations de sécurité.

Cette forme de maintenance s'appuie principalement sur des données statistiques. Bien que simpliste, elle reste largement employée de nos jours, souvent en raison de sa simplicité qui évite une analyse approfondie du comportement.

III.2.5.1.3 Maintenance prévisionnelle

Parfois désignée sous le terme de "maintenance prédictive", la maintenance prévisionnelle consiste, selon l'AFNOR, à effectuer des opérations de maintenance en se basant sur des prévisions extrapolées à partir de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs liés à la détérioration de l'objet. Elle repose sur l'analyse de l'évolution des paramètres techniques permettant de mesurer l'état de l'objet et de détecter les dégradations potentielles dès leur apparition, ce qui permet d'anticiper et de planifier au mieux le moment où l'intervention sera nécessaire.

III.2.5.2 Maintenance corrective

Toujours en accord avec la norme AFNOR « Ensemble des activités réalisées après la défaillance d'un bien ou la dégradation de sa fonction pour lui permettre d'accomplir une fonction requise, au moins provisoirement, ces activités comportent notamment la localisation de la défaillance et son diagnostic, la remise en état avec ou sans modification, le contrôle du bon fonctionnement ».

Il existe deux catégories de Maintenance corrective :

III.2.5.2.1 Maintenance palliative (Dépannage)

Il s'agit d'une réparation effectuée sur place, parfois sans interrompre le fonctionnement de l'ensemble concerné. Elle est considérée comme temporaire et doit être suivie d'une action corrective permanente.

III.2.5.2.2 Maintenance curative

Ces réparations, réalisées sur place ou dans un atelier central, sont parfois effectuées après un dépannage et ont un caractère « permanent ».

III .2.6 Politiques de maintenance

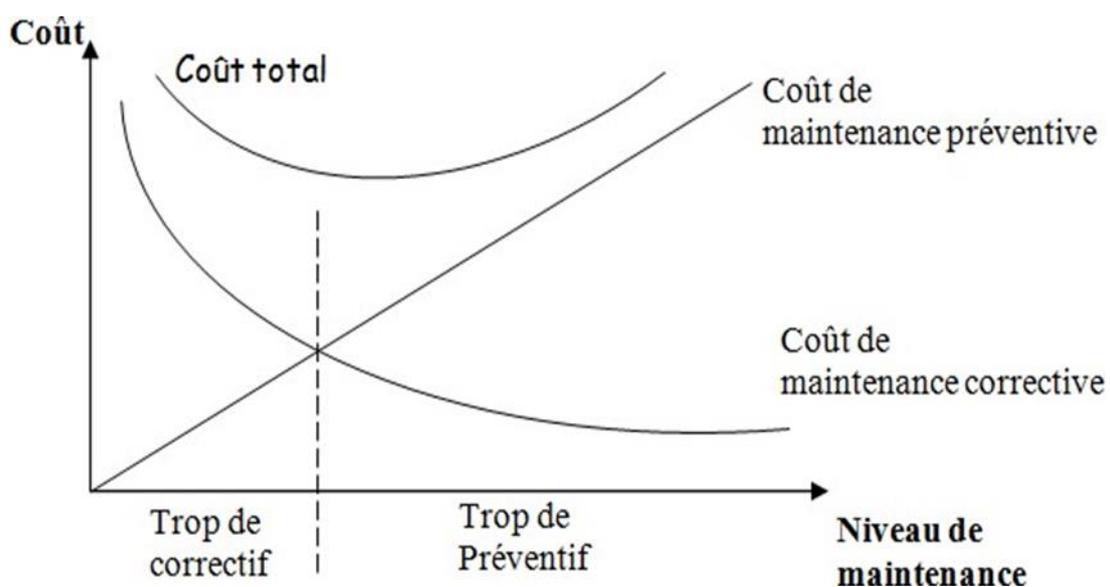


Figure (III.02) : Politiques de maintenance [17]

III.2.7 Opérations de maintenance

La signification de ces opérations est définie par les normes (NF X 60-010 et NF EN 13306).

a) Le dépannage

Il s'agit d'une démarche visant à réparer un équipement défaillant dans le but de le remettre en état de marche.

b) La réparation

Il s'agit d'une opération de réparation ciblée et permanente effectuée après une panne ou une défaillance, visant à maintenir les performances initiales de l'équipement réparé conformément à sa conception.

c) Les inspections

Il s'agit d'activités de surveillance qui consistent à détecter régulièrement des irrégularités et à effectuer des ajustements simples sans nécessiter l'utilisation d'outils spécifiques ni l'arrêt de la production ou des équipements.

d) Les visites

Ces opérations de surveillance sont effectuées régulièrement selon un calendrier préétabli dans le cadre de la maintenance préventive systématique.

e) Les contrôles

Les vérifications de conformité par rapport à des données préétablies sont effectuées, après quoi un jugement est rendu. [15]

III.3 Etude de la fiabilité

III.3.1 Notion de fiabilité d'un système

On peut décrire un système comme un regroupement de parties liées entre elles, conçu dans le but d'accomplir une tâche spécifique dans des circonstances et une période déterminées. Pour chaque système, il est essentiel de préciser de manière explicite les éléments qui le définissent, à savoir : la fonction, la composition, les conditions de

fonctionnement, les modalités d'utilisation, ainsi que l'environnement dans lequel il est destiné à fonctionner.

III.3.2 Définition

Selon la norme (NORME X60—500), la fiabilité se réfère à la capacité (la probabilité) d'un élément à remplir une fonction nécessaire sur une période de temps spécifique, dans des conditions spécifiées.

III.3.3 Objectifs de la fiabilité

L'objectif de la fiabilité consiste à :

- Quantifier une assurance dans la durée ;
- Évaluer de manière rigoureuse un niveau de confiance ;
- Prédire une durée de vie ;
- Estimer de façon précise un temps de fonctionnement ;
- Définir la stratégie de maintenance ;
- Sélectionner le stock adéquat.

III.3.4 Principales lois de probabilité utilisées en fiabilité

Dans le domaine de la fiabilité des équipements, on peut observer une variété de lois de distribution pour les variables aléatoires continues ou discrètes, qui sont principalement :

- loi normale.
- loi log-normale.
- loi binomiale.
- loi de POISSON ou loi de faibles probabilités.
- loi exponentielle.
- loi de WEIBULL [19].

III.3.5 Modèle de WEI BULL

Il s'agit de l'une des lois les plus courantes, largement utilisée dans divers domaines tels que l'électronique et la mécanique... Elle permet de représenter de nombreuses situations d'usure du matériel. Cette loi est utilisée pour caractériser le comportement d'un système à travers trois phases vie, période de jeunesse, période de vie utile et période d'usure ou vieillissement. La distribution de Weibull, dans sa forme la plus générale, est déterminée par trois paramètres : β , γ et η . [15]

Préparation des données :

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

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

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

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

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

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

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

Et on fait le Tracé du nuage des points $M(F(i), t)$

III.3.5.1 Loi de Weibull

a) La densité de probabilité

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

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

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

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

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

b) La fonction de répartition

La fonction de répartition s'écrit :

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

c) La fonction de fiabilité R(t)

La fonction de fiabilité s'écrit :

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

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

Le taux de défaillance donné par :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1-F(t)} = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}} \cdot \frac{1}{e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}}} \quad (\text{III.5})$$

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

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

La fonction $\lambda(t)$ peut également être exprimée comme l'inverse du temps, mais elle ne représente pas une probabilité de densité.

L'observation démontre que, pour la majorité des éléments, le taux de défaillance suit une courbe en forme de baignoire, comme illustré dans la figure ci-dessous : [15]

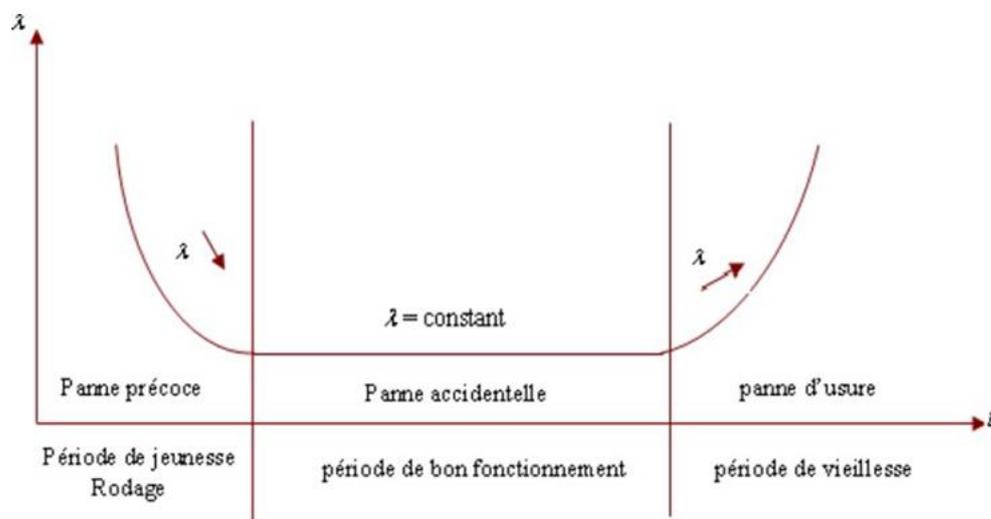


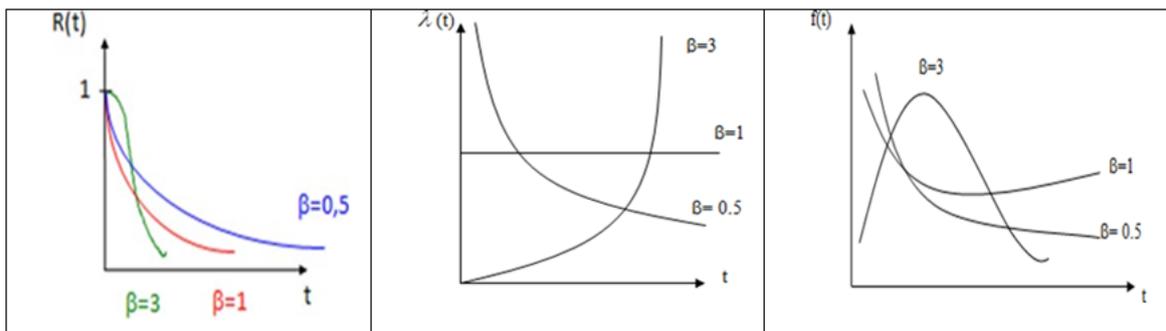
Figure (III.3) : Courbe en baignoire[15]

Cette courbe représente trois périodes:

- La période de jeunesse ou de rodage: correspond à l'apparition de défaillances, dues à des malfaçons ou à des contrôles insuffisants. Dans la pratique, le fabricant procède à un rodage de son matériel afin d'éviter que cette période ne se produise après l'achat du matériel.
- La période de bon fonctionnement: dans cette période, le taux d'avaries est sensiblement constant, les avaries surviennent de manière aléatoire et ne sont pas prévisibles par examen du matériel; ces défaillances sont dues à un grand nombre de causes et sont liées à la fabrication des dispositifs.
- La période de vieillissement :le taux d'avaries est croissant, cette période correspond à une dégradation irréversible des caractéristiques du matériel, d'où une usure progressive. [15]

Paramètre de forme β

- Si $\beta > 1$, le taux de défaillance est croissant, caractéristique de la zone de vieillesse
 - $1,5 < b < 2,5$: fatigue
 - $3 < b < 4$: 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



Variation de forme (b) en fonction de Temps et de $R(t)$ - $\lambda(t)$ - $f(t)$

III.3.6 Étude paramétrique du modèle de WEI BULL

Suivant les valeurs de β , le taux de défaillance est soit décroissant ($\beta < 1$) soit constant ($\beta = 1$), soit croissant ($\beta > 1$). La distribution de weibull permet donc de représenter les trois périodes de la vie d'un dispositif décrites par la courbe en baignoire.

Le cas $\gamma > 0$ correspond à des dispositifs dont la probabilité de défaillance est nulle jusqu'à un certain âge β .

III.3.7 Estimation des paramètres du modèle de WEI BULL

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

a) Graphique à échelle fonctionnelle :

Abscisse haute : échelle naturelle en X

- Abscisse intermédiaire : échelle logarithmique (lecture du paramètre t)
- Abscisse basse : échelle logarithmique (on fait correspondre à chaque valeur de t son logarithme népérien $\ln t$).
- Ordonnée gauche : on place les valeurs de F (t) en pourcentage en échelle $\ln (- \ln (1 - F(t)))$.
- Ordonnée sur l'axe X = -1 (lecture du paramètre) : ce sont les valeurs $\ln (- \ln (1 - F (t)))$. [16]

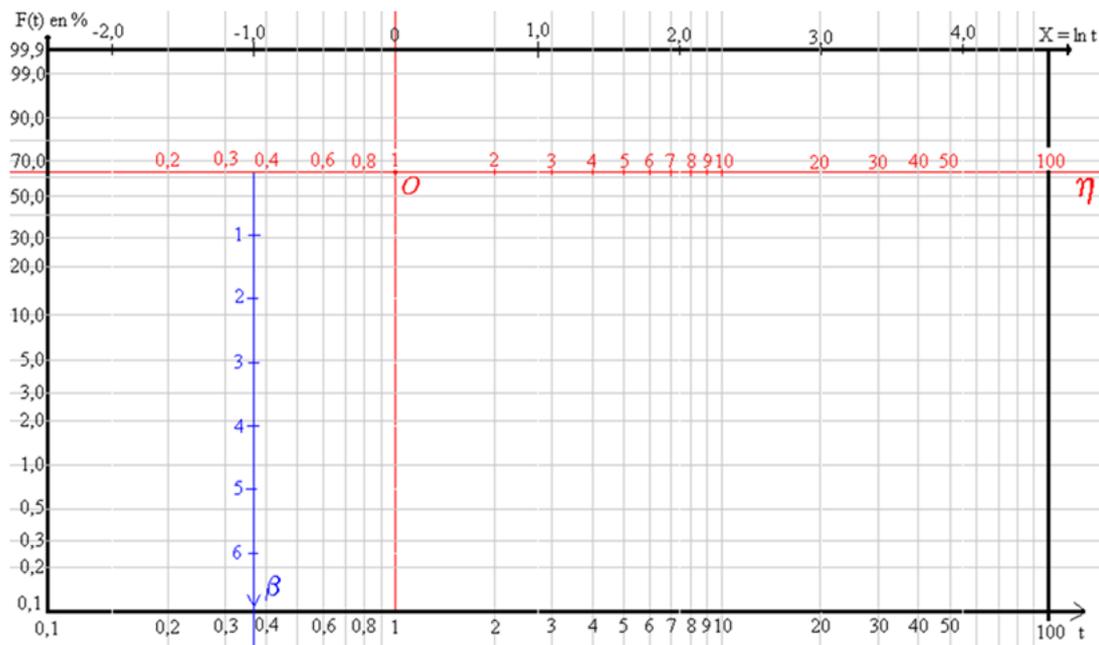


Figure (III.4) Représentation sur graphique à échelle fonctionnelle de la distribution de Weibull (graphique d'Allan Plait).

a). Recherche de γ

Si les points du nuage forment une ligne droite, alors gamma est égal à zéro. ($\gamma = 0$)

Si les points du nuage forment une courbe, on peut les aligner en effectuant une translation de tous les points vers le haut ou vers le bas en ajoutant ou en soustrayant une valeur constante "t" aux abscisses (gamma). Cela permet d'obtenir une ligne droite, comme illustré dans la figure suivante. [15]

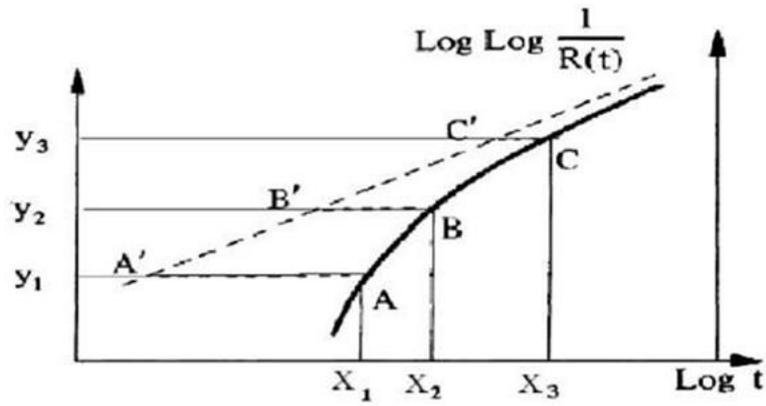


Figure (III.5) : redressement de la courbe par translation Ce redressement peut se faire par tâtonnement ou avec la relation

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

$$Y = \frac{X_3 * X_1 - X_2^2}{X_3 + X_1 - 2X_2} \quad (III.6)$$

Considérons les points :

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

Et $\{Y^3 > Y^2 > Y^1$

$$2Y_2 = Y_1 + Y_3$$

En arrangeant on obtient

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

b). Recherche de η

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

c). Recherche de β

-béta est la pente de la droite de corrélation.

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

III.3.8 maintenabilité

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

La maintenabilité se réfère à la facilité de rétablir ou de préserver un objet dans un état de fonctionnement optimal. [15]

La mesure de la maintenabilité se fait à travers le calcul de la moyenne des temps techniques de réparation (MTTR) [15].

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

$$\text{MTTR} = \frac{\sum TTR}{N}$$

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

III.3.8.1. Taux de réparation μ

La probabilité de réparer un composant dépend principalement de la durée écoulée depuis le moment de sa défaillance. Il y a un laps de temps, appelé t , avant que la réparation du composant puisse être effectuée. Ce délai t englobe à la fois le temps nécessaire pour détecter la défaillance et le temps d'attente de l'équipe de réparation. [15]

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

III.3.9 disponibilité

La disponibilité d'un bien se réfère à sa capacité, dans le contexte de sa fiabilité, de sa maintenabilité et de l'organisation de la maintenance, à accomplir une fonction requise dans des délais spécifiques. Pour qu'un équipement soit considéré comme disponible, il doit :

- Minimiser les interruptions de production autant que possible.
- Être réparé rapidement en cas de défaillance.

Ainsi, la disponibilité est un concept qui englobe les notions de fiabilité et de maintenabilité.

III.3.9.1 types de disponibilité

a). Disponibilité intrinsèque

Cette disponibilité est évaluée en prenant en compte les moyennes de bon fonctionnement et les moyennes de réparation, ce qui donne :

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

b). disponibilité instantanée

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

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

III.4 Loi de Pareto

III.4.1 Origine de la méthode

La loi de Pareto, également connue sous le nom de loi des 15-85 ou 20-80, tire son origine des recherches de Wilfred Pareto (1848-1923), un économiste italien né à Paris. Ses études sur la répartition de l'impôt foncier aux États-Unis ont révélé que 15% des contribuables étaient responsables de 85% du montant total payé. Depuis lors, cette méthode est appelée la loi de Pareto.

III.4.2 Définition et intérêt de la méthode

Elle offre la possibilité de sélectionner les problèmes prioritaires parmi plusieurs options. Par conséquent, elle facilite une distinction claire entre les éléments importants et ceux qui le sont moins. Cela permet d'éviter de se laisser submerger par des tâches utiles mais de faible importance par rapport à l'ensemble des autres travaux.

Il s'agit d'un service de maintenance confronté à de multiples tâches et à une main-d'œuvre parfois insuffisante. De plus, les nouvelles technologies sont coûteuses. Par conséquent, il est essentiel de s'organiser de manière rationnelle. En utilisant la méthode ABC de Pareto, on peut résoudre ce problème en identifiant précisément les interventions prioritaires à effectuer. [20]

III.4.3 Méthodologie

Elle organise les pannes en les classant par ordre croissant de coûts (en termes d'heures ou d'argent). Chaque panne est associée à une machine ou à une catégorie spécifique. Ensuite, elle crée un graphique qui met en relation les pourcentages cumulés des coûts avec les pourcentages cumulés des types de pannes. De cette manière, on obtient un graphique qui présente trois zones distinctes :

Zone A : pour cette zone, il est observé que les 20% des défaillances génèrent 80% des dépenses, ce qui en fait la zone prioritaire.

Zone B : Pour cette zone, les 30% de défaillances suivantes n'engendrent qu'une augmentation de 15% des coûts.

Zone C : En ce qui concerne cette zone, les 50% de défaillances restantes ne représentent que 5% des dépenses.

III5 Etude AMDEC

III5.1 Présentation

La méthode AMDEC (Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité) représente une approche anticipative pour évaluer la fiabilité, la maintenabilité et la sécurité des produits et des équipements.

D'après les directives de l'AFNOR, l'analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC) est une approche inductive qui vise à identifier, pour chaque élément constituant d'un système, les éventuels modes de défaillance et leurs conséquences sur le fonctionnement ou la sécurité du système. [21]

III5.2 Types d'AMDEC

Différents types d'AMDEC sont utilisés à différentes étapes du développement d'un produit en fonction des objectifs visés :

a) AMDEC produit

Garantir que la conception du produit (qu'il s'agisse d'un appareil électroménager, d'un sous-ensemble automobile ou d'un produit chimique) répondra aux attentes des clients.

b) AMDEC processus

- Veiller à ce que chaque phase de production du produit ne conduira pas à la présence de défauts de qualité.

Les résultats de l'étude sont les suivants :

- Procédures de production
- Programme de supervision

c) AMDEC machine

- Veiller à ce que les équipements et les machines soient opérationnels dans la mesure du possible pour garantir une disponibilité optimale.

Les sorties de l'étude sont :

- Procédures de conduite et d'entretien
- Enseignement aux employés (production et maintenance)

- Stratégie de maintenance et de gestion des pièces détachées
- Apporter des changements afin d'accroître la fiabilité ou la facilité de maintenance

- L'objet principal de ce document est l'AMDEC Moyen.

III5.3 Terminologie

a) La Défaillance

Selon la norme AFNOR X 60-500, une défaillance correspond à l'arrêt de la capacité d'un élément à remplir une fonction nécessaire.

b) Mode de défaillance

Un mode de défaillance fait référence à la façon dont le système peut cesser de fonctionner ou fonctionner de manière anormale. Chaque fonction de chaque composant possède son propre mode de défaillance, qui est décrit en termes physiques. Des exemples de modes de défaillance comprennent la rupture, la perte de courant électrique, le blocage et la fuite.

c) Cause de défaillance

Une origine de défaillance représente l'anomalie initiale susceptible de mener à la défaillance par le biais du mode de défaillance. L'origine d'un élément défaillant peut provenir de l'intérieur ou de l'extérieur de celui-ci. Plusieurs origines peuvent correspondre à un même mode de défaillance, et vice versa.

Illustrations : insuffisance de dimensionnement, déficit de lubrifiant, corrosion, cavitation...

d) Effet de défaillance

L'impact d'une défaillance est intrinsèquement une conséquence éprouvée par l'utilisateur.

Un seul type de défaillance peut entraîner plusieurs effets simultanés qui peuvent se combiner et se succéder. De même, plusieurs types de défaillances peuvent entraîner le même effet.

Exemples : interruption de la production, pénurie d'eau potable...

e) Détection

La détection désigne un processus permettant d'identifier, de repérer ou de mesurer de manière anticipée un phénomène, une caractéristique physique inhabituelle ou un signe indiquant le début, la propagation ou le développement d'un mécanisme de défaillance.

f) Indice de Fréquence « F »

Il incarne le danger de l'apparition potentielle de la cause de défaillance et de son impact sur le mode potentiel de défaillance envisagé. Par conséquent, la notion de fréquence dépend de la combinaison cause-mode. En fin de compte, la fréquence se mesure en fonction du nombre de défaillances de l'élément sur une période spécifiée.

g) Indice de Gravité « G »

Il fait référence à l'importance (ou à la sévérité) de l'impact de chaque défaillance, tel que perçu par l'utilisateur. Par conséquent, la notion d'importance est étroitement liée à l'effet de la défaillance.

h) Indice de Non Détection « D »

Il représente la probabilité que la cause (et/ou le mode) de défaillance supposée apparue atteigne l'utilisateur. La probabilité de non détection dépend d'une part de l'existence d'une anomalie observable de manière suffisamment précoce et d'autre part des moyens de détection mis en œuvre (ou envisagés) au moment de l'étude.

i) Criticité « C »

Pour chaque cause de défaillance, le produit des trois indices de fréquence, gravité et non détection est effectué. Le résultat donne l'indice de Criticité : $C=F*G*D$ [21]

Tableau (III.01) : Grille AMDEK

PME :		Analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leurs criticités						
Système : compresseur à vis			DATE :					
N	L'élément	fonction	modes de défaillance	cause	effet	detection	Criticité	Action
1	2	3	4	5	6	7	8	9

1: Cette colonne permet d'inscrire le numéro de l'élément.

2: Cette colonne permet d'inscrire la désignation de l'élément.

3: Cette colonne permet d'inscrire la fonction réalisée par l'élément lors du fonctionnement normal.

4: Cette colonne permet d'inscrire le mode de défaillance qui correspond à la manière dont l'élément peut être amené à ne plus assurer sa fonction.

5: Cette colonne permet d'inscrire les causes ayant conduit à l'apparition de la défaillance du dispositif à travers le mode de défaillance de l'élément.

6: Cette colonne permet d'inscrire les effets provoqués par l'apparition des modes de défaillance ; tels que perçus par l'utilisateur du dispositif.

7: Cette colonne permet d'inscrire les modes de détection qui sont les signes provoqués par l'apparition de la défaillance, sans qu'elle n'ait encore générée l'apparition de conséquences.

8: Ces colonnes permettent d'inscrire la valeur de la criticité **C**, calculée à partir de l'estimation des indices **F**, **G** et **D**.

9: Cette colonne permet d'inscrire l'ensemble des mesures correctives décidées par le groupe de travail, pour éliminer les points critiques. [21]

III 5.5 Tableau les indices de défaillance

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

Tableau (III.02) : les indices de défaillance

III 5.6 Démarche pratique de l'AMDEC

Il est essentiel de compléter et d'équiper l'ossature créée par les AMDEC. Par conséquent, il est nécessaire d'effectuer une analyse approfondie de la pertinence des informations. Il est impératif de maîtriser la machine et de maintenir à jour toutes les informations pertinentes pour l'étude, en s'assurant de leur validité. Ce groupe doit s'appuyer sur l'expérience de tous les opérateurs travaillant dans les différents services du cycle de fabrication du produit, afin d'apporter une valeur ajoutée à l'analyse.

Le processus opérationnel de l'AMDEC comprend les étapes suivantes, réparties en 4 étapes distinctes :

Premier Etape : le début de l'étude qui implique :

- explication de la machine de analyse
- explication de la période d'activité
- établissement des buts à accomplir
- Formation d'une équipe de travail,
- La signification de l'expression "planning des réunions",
- élaboration des documents de travail.

Deuxième étape : la description fonctionnelle de la machine comprend :

- Le découpage de la machine et la prise de décision des actions à entreprendre.
- L'inventaire des fonctions de service.
- L'inventaire des fonctions techniques.

Troisième étape : l'analyse AMDEC comprend :

- L'analyse des mécanismes de défaillances.
- L'évaluation de la criticité à travers :
 - La probabilité d'occurrence F.
 - La gravité des conséquences G.
 - La probabilité de non détection D.

Quatrième étape : la synthèse de l'étude ou les décisions comprennent :

- Le bilan des travaux.
- La prise de décision des actions à entreprendre.

III 6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les trois concepts essentiels de la maintenance, à savoir la fiabilité, la maintenabilité, la disponibilité et l'AMDEC. De plus, nous avons abordé de manière globale la notion de maintenance et son importance au sein d'une entreprise.

Chapitre IV

Partie pratique

IV.1 Exploitation de l'historique

La procédure de traitement des données brutes de l'historique (tableau V.01) implique la prise en compte de l'historique de panne du compresseur REGATTA 215.

- L'évaluation des périodes d'inactivité dues à des pannes (TTR) qui découlent des écarts entre les dates de cessation et de commencement.
- Les heures de bon fonctionnement (TBF) sont obtenues en prenant en compte les écarts entre deux pannes consécutives.

Tableau(IV.01) : L'historique de panne de compresseur REGATTA 215

N°	Date de démarrage	Date d'arrêt	TBF (H)	TTR (H)	Organe	Action
01	10/12/2001	05/04/2008	55392	72	Haute température du palier avant	Changement du palier avant
02	08/04/2008	09/08/2009	11712	48	Haute température du palier arrière	Changement du palier arrière
03	11/08/2009	24/11/2011	20040	24	Cisaillement de la vis 1	Changement de la vis 1
04	25/11/2011	30/12/2011	840	14	Filtre à air	Changement du filtre d'air
05	30/12/2011	23/12/2012	8616	28	Bloc d'aspiration	Changement de Bloc d'aspiration
06	24/12/2012	12/03/2013	1872	40	Cisaillement de la vis 2	Changement de la vis 2
07	13/03/2013	24/05/2013	1728	190	surchauffe d'huile de compresseur	Changement de refroidisseur d'huile
08	31/05/2013	14/06/2013	336	14	Filtre à air	Changement du filtre d'air
09	14/06/2013	11/11/2013	3600	16	Ventilateur d'air de refroidissement	Changement de Ventilateur
10	11/11/2013	11/02/2014	2208	120	Refroidisseur d'air	Changement compresseur de gaz
11	16/02/2014	20/03/2014	768	10	Filtre d'huile	Changement du filtre d'huile
12	20/03/2014	08/01/2015	7056	16	Ventilateur d'air de refroidissement	Changement de Ventilateur

IV.2 Application Pratique des méthodes d'analyse

IV.2.1 Méthode d'analyse prévisionnelle « ABC (Pareto)

La méthode ABC, également connue sous le nom d'analyse Pareto, est une méthode de classification des éléments d'un ensemble en fonction de leur importance relative. Cette méthode est utilisée dans divers domaines, notamment en gestion des stocks, en gestion de projet, en analyse des coûts et en marketing.

La méthode ABC consiste à classer les éléments d'un ensemble en trois catégories distinctes en fonction de leur contribution relative à une mesure de performance donnée. Les catégories sont déterminées en utilisant la loi de Pareto, qui stipule qu'une minorité d'éléments contribue à une grande partie de la performance totale. Les catégories sont les suivantes :

- Catégorie A : représente les éléments les plus importants, qui contribuent à environ 80% de la performance totale.
- Catégorie B : représente les éléments modérément importants, qui contribuent à environ 15% de la performance totale.
- Catégorie C : représente les éléments les moins importants, qui contribuent à environ 5% de la performance totale.

La méthode ABC est souvent utilisée pour optimiser la gestion des stocks en identifiant les articles les plus importants et en leur accordant une attention particulière pour assurer leur disponibilité. Elle peut également être utilisée pour la gestion des coûts en identifiant les coûts les plus importants et en cherchant à les réduire en priorité.

Analyse ABC (Pareto)**Tableau (IV.02) : Analyse ABC (Pareto)**

N°	Organe	TTR (H)	Cumul TTR	TTR %	Nombre de panne	Cumul des pannes	Cumul des pannes %
1	surchauffe d'huile de compresseur	190	190	33.81	1	1	8.33
2	Refroidisseur d'air	120	310	55.16	1	2	16.66
3	Haute température du palier avant	72	382	67.97	1	3	25
4	Haute température du palier arrière	48	430	76.51	1	4	33.33
5	Cisaillement de la vis 2	40	470	83.63	1	5	41.67
6	Bloc d'aspiration	28	498	88.61	1	6	50
7	Cisaillement de la vis 1	24	522	92.88	1	7	58.33
8	Ventilateur d'air de refroidissement	16	538	95.73	2	9	75
9	Filtre à air	14	552	98.22	2	11	91.67
10	Filtre d'huile	10	562	100	1	12	100

IV.2.2 Courbe de Pareto

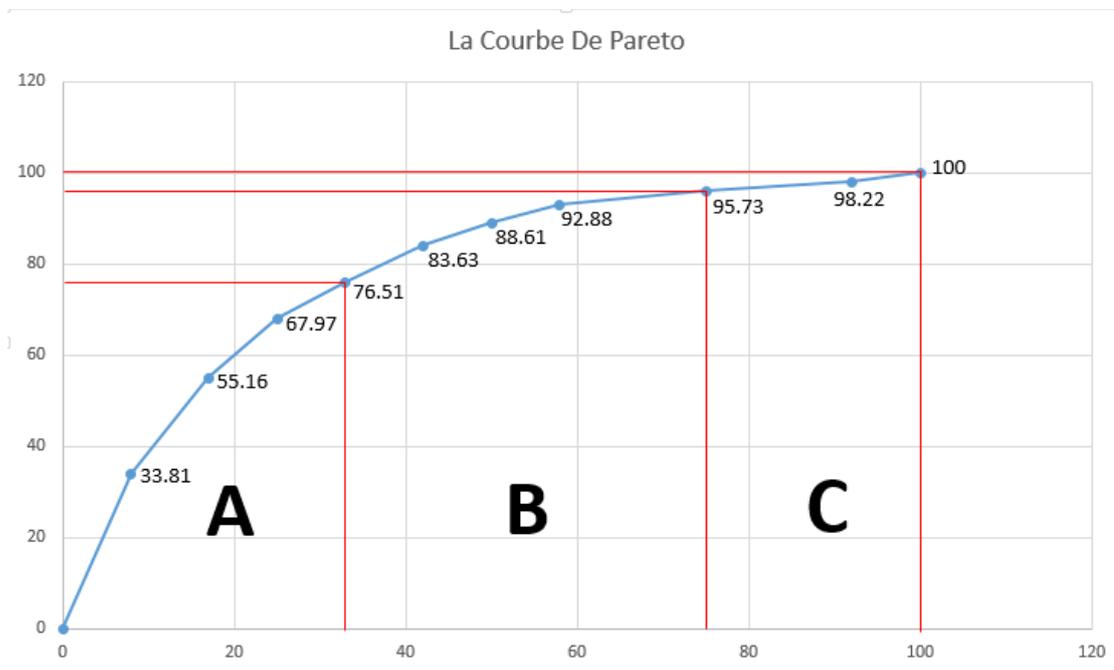


Figure (IV.01) : La Courbe de Pareto

IV.2.3 Interprétation des résultats :

- **Zone "A" :**

En général, on observe que près de 76,51% du temps d'arrêt correspond à environ 33,33% des incidents, ce qui forme la zone A, à savoir les priorités (comprenant les paliers avant et arrière, le refroidisseur d'air et la surchauffe d'huile du compresseur).

- **Zone "B" :**

Dans cette zone, les **19.22 %** des heures d'arrêt représentent **41.67 %** supplémentaire des pannes (Ventilateur d'air de refroidissement et Cisaillement de la vis 1 et Bloc d'aspiration et Cisaillement de la vis 2).

- **Zone "C" :**

Dans cette zone les **4.27 %** des heures d'arrêt restantes ne représentent que **25 %** des pannes (Filtre d'huile et Filtre à air).

IV.3 Calcul les paramètres de Weibull

Dans ce qui suit, vous trouverez une liste des TBF triés par ordre croissant, ainsi que les valeurs $F(i)$ calculées à l'aide de la méthode des rangs médians $F(i) = \frac{\Sigma ni + 0.3}{N + 0.4}$ (dans notre cas $N = 14 \leq 20$) Ensuite, nous représentons graphiquement la courbe de Weibull :

Tableau (IV.03) : Fonction de répartition réelle

N°	TBF(H)	N	Σni	F(i)	F(i) %
1	336	1	1	0.0564	5.64
2	768	1	2	0.1370	13.70
3	840	1	3	0.2177	21.77
4	1728	1	4	0.2983	29.83
5	1872	1	5	0.3790	37.90
6	2208	1	6	0.4596	45.96
7	3600	1	7	0.5403	54.03
8	7056	1	8	0.6209	62.09
9	8616	1	9	0.7016	70.16
10	11712	1	10	0.7820	78.22
11	20040	1	11	0.8629	86.29
12	55392	1	12	0.9435	94.35

IV.3.1 Courbe de Weibull

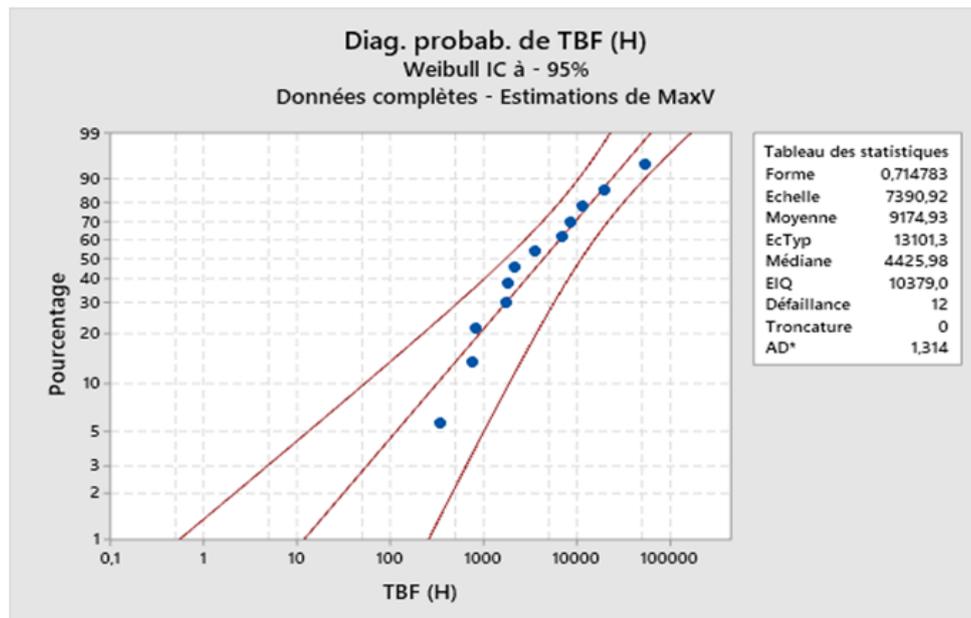


Figure (IV.02) : Papier de Weibull

$$\beta=0.714783 \quad \eta=7390.92$$

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

IV.3.2 Test (KOLMOGOROV SMIRNOV)

Avant la validation de toutes les lois de fiabilité, il est nécessaire de tester

l'hypothèse pour savoir si nous devons accepter ou rejeter le modèle proposé par le test de KS 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 annexe1).

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

Tableau (IV.04): Tableau K-S

N	TBF	F(i)	F(t)	Dn.max = F(i) - F(t)
1	336	0.0564	0.1039	0.0475
2	768	0.1370	0.1798	0.0428
3	840	0.2177	0.1904	0.0273
4	1728	0.2983	0.2980	0.0003
5	1872	0.3790	0.3125	0.0665
6	2208	0.4596	0.3440	0.1156
7	3600	0.5403	0.4500	0.0903
8	7058	0.6209	0.6200	0.0009
9	8616	0.7016	0.6723	0.0293
10	11712	0.7820	0.7508	0.0312
11	20040	0.8629	0.8699	0.007
12	55392	0.9435	0.9852	0.0417

D'après la table de K-S

Le modèle de Weibull est considéré comme valide, ce qui signifie qu'il est accepté. Nous avons utilisé la valeur maximale de DN_{max} , qui est égale à la différence entre $F(i)$ et $F(t)$. Nous avons obtenu $DN_{max}=0.1156$, tandis que $DN_{\alpha=D12.20} = 0.295$ (référence à la table Annex1). Comme 0.1156 est inférieur à 0.295, cela confirme que l'hypothèse du modèle de Weibull est acceptable.

IV.3.3 Exploitation les paramètres de WEIBULL

a) Le MTBF

Le tableau de MTBF donne $A=1,2638$ $B=1,85$ (voir annexe tab.2).

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

$$MTBF=1.2636*7390.92+0$$

$$MTBF = 9339.16 \text{ h.}$$

b) La densité de probabilité en fonction de MTBF

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

$$f(t) = \frac{0.714783}{7390.92} \left(\frac{9339.16}{7390.92}\right)^{0.714783-1} \cdot e^{-\left(\frac{9339.16}{7390.92}\right)^{0.714783}} = 0.000027$$

c) La fonction de répartition en fonction de MTBF

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

$$F(t=MTBF) = 0.69 = 69\%$$

d) La fiabilité en fonction de MTBF

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

$$R(MTBF) = 1 - 0.69 = 0.31 = 31\%$$

e) Le taux de défaillance en fonction de MTBF

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

$$\lambda(t = MTBF) = 0.000090 \text{ panne/heures.}$$

f) Calcul du temps souhaitable pour une intervention systématique :

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

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

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

$$t=7390.92 [\ln(1/0.80)]^{\frac{1}{\beta}}$$

t Sys = 906.46 heures.

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

IV.3.4 Étude de modèle de Weibull

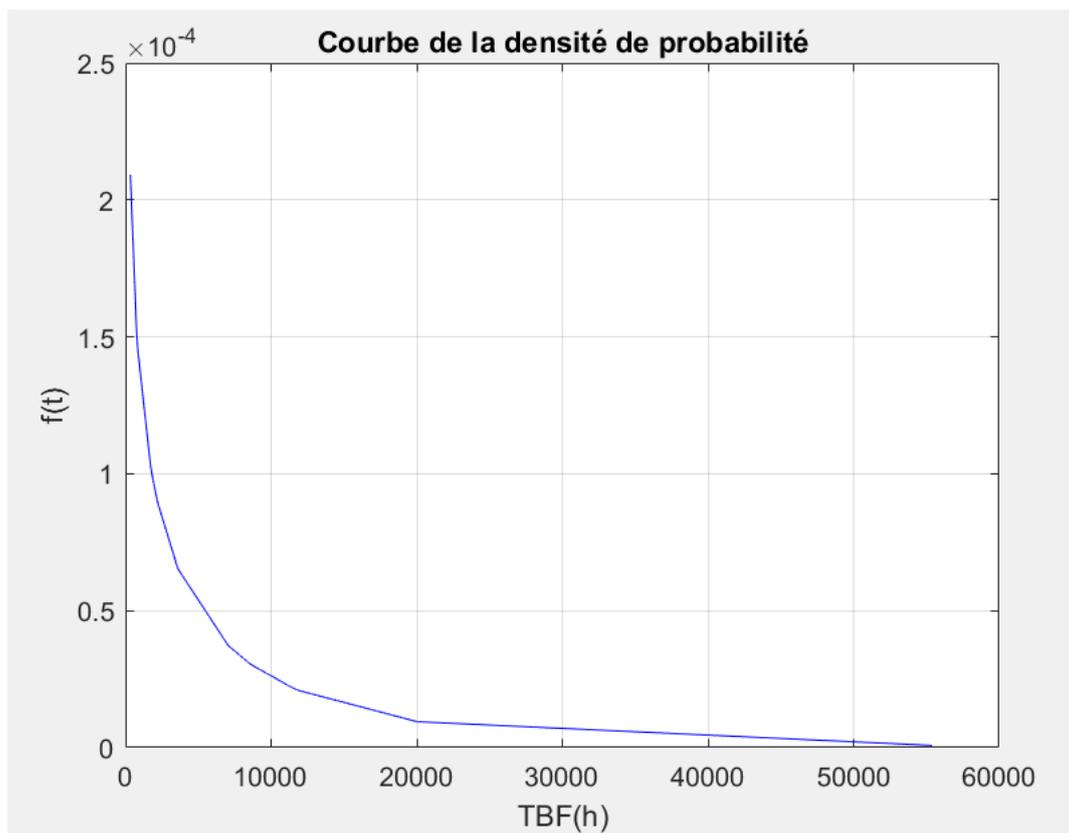
a. La fonction de la densité de probabilité :

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

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

Tableau (IV.05) : Calcul la fonction de la densité de probabilité

TBF	336	768	840	1728	1872	2208	3600	7058	8616	11712	20040	55392
$f(t) \cdot 10^{-6}$	209.24	151.31	145.57	102.75	98.36	89.54	65.29	37.24	30.33	21.13	9.46	0.8

Courbe de la densité de la probabilité $f(t)$ **Figure (IV.03) :** Courbe de la densité de la probabilité $f(t)$

Analyse de la courbe

En observant la courbe, nous remarquons que la fonction $f(t)$ décroît progressivement au fil du temps jusqu'à atteindre des valeurs nulles.

b. Fonction de répartition $F(t)$

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

Tableau (IV.06) : Fonction de répartition

TBF	336	768	840	1728	1872	2208	3600	7058	8616	11712	20040	55392
F(t). 10	1.04	1.80	1.90	2.98	3.12	3.44	4.50	6.20	6.72	7.50	8.70	9.85

Courbe fonction de répartition $F(t)$

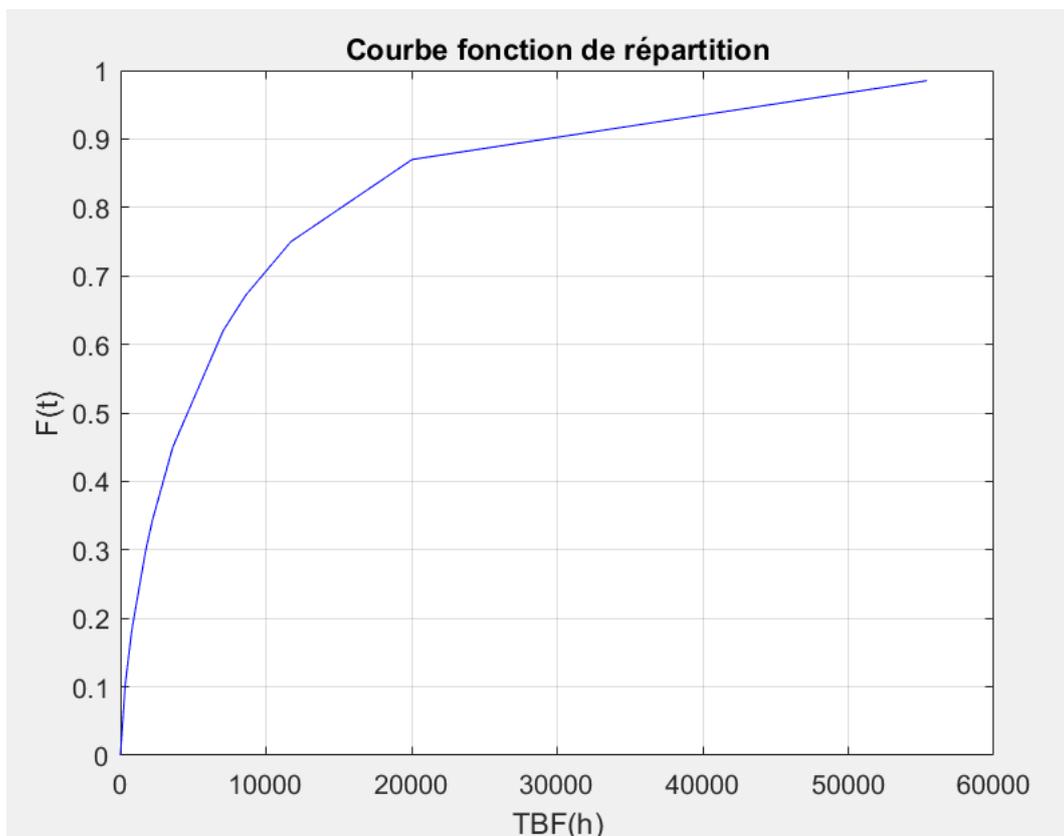


Figure (IV.04) : Courbe fonction de répartition $F(t)$

Analyse de la courbe

En observant la courbe, on peut remarquer que la fonction $f(t)$ décroît au fil du temps jusqu'à atteindre des valeurs nulles.

a. La Fiabilité $R(t)$

La fiabilité de la fonction de répartition, $R(t) = 1-F(t)$, peut être utilisée pour calculer la fiabilité des compresseurs au temps $t=MTBF$. Si la valeur obtenue n'est pas satisfaisante, cela indique que le compresseur n'est pas fiable à $t=MTBF$.

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

$$R(t=MTBF) = 0,31$$

Tableau (IV.07) : Calcul de la fiabilité

TBF	336	768	840	1728	1872	2208	3600	7058	8616	11712	20040	55392
R(t)	0.9	0.82	0.81	0.70	0.69	0.65	0.54	0.38	0.33	0.25	0.13	0.015

Courbe de la fiabilité

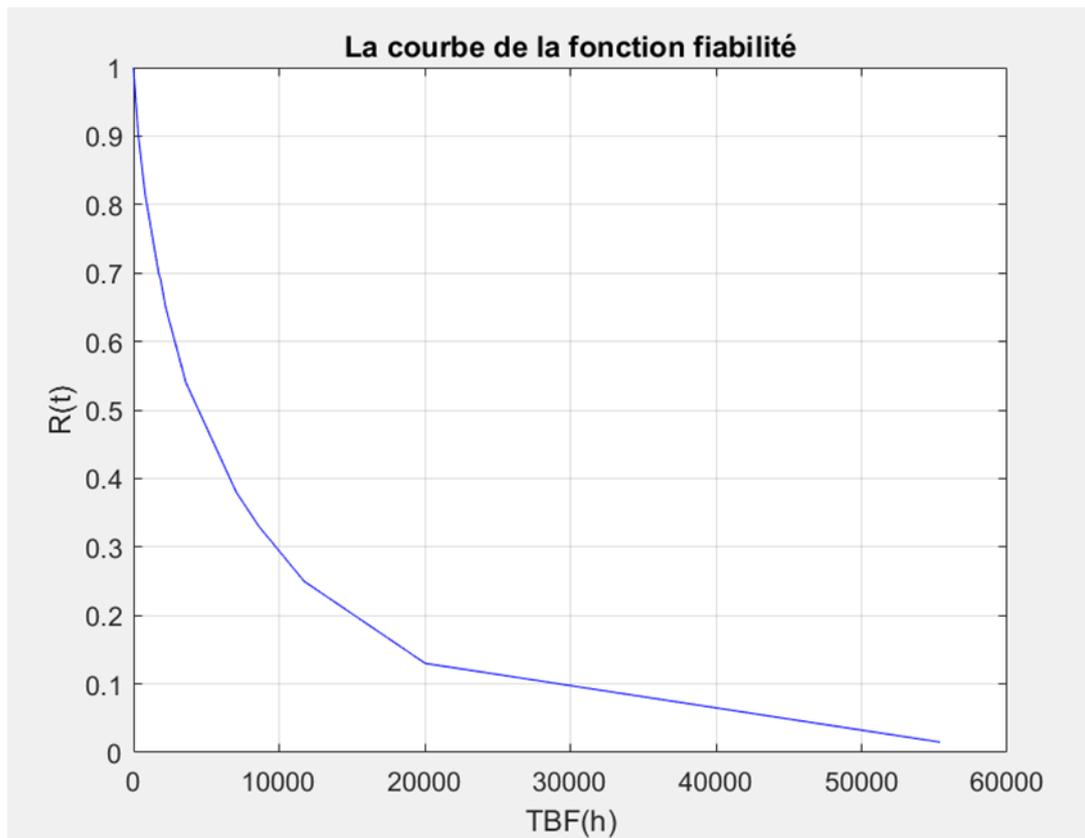


Figure (IV.05) : Courbe de la fiabilité

Analyse de la courbe

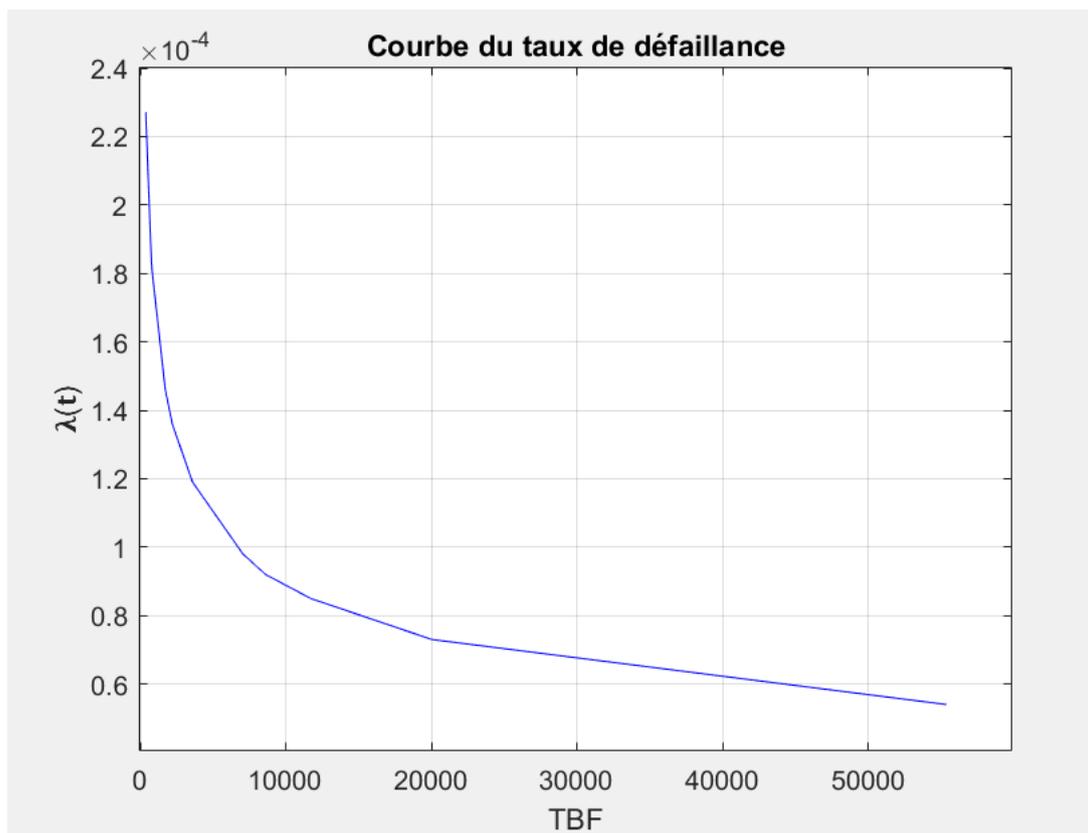
La baisse de la fiabilité au fil du temps dans le graphique est due à la dégradation. Afin d'augmenter la fiabilité du compresseur, il est impératif d'effectuer une analyse des pannes, en y incluant une étude approfondie de leurs origines, méthodes et impacts.

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

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

Tableau (IV.08) : Le taux de défaillance

TBF	336	768	840	1728	1872	2208	3600	7058	8616	11712	20040	55392
$\lambda(t)$ 10^{-3}	0.233	0.184	0.180	0.146	0.143	0.136	0.119	0.098	0.092	0.085	0.073	0.054

Courbe du taux de défaillance**Figure (IV.06) : Courbe du taux de défaillance**

Analyse de la courbe

En examinant la courbe, nous constatons que la fonction $\lambda(t)$ prend une grande valeur et diminue avec le temps.

IV.3.5 Calcul la Maintenabilité du compresseur

D'après l'historique des pannes du compresseur :

$$MTTR = \sum TTR / N$$

TTR : temps de réparation.

N : nombre de panne.

$$MTTR = 562 / 12 = 46.83 \text{ h.}$$

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t}$$

Avec $\mu = 1 / MTTR$

$$\mu = 1 / 46.83 = 0.0213 \text{ intervention / heure.}$$

Tableau (IV.09) : La Maintenabilité du compresseur

TTR(h)	40	80	120	160	200	240	280	320	360	400	440	480
M(t)	0.57	0.82	0.92	0.97	0.99	0.994	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Courbe de maintenabilité

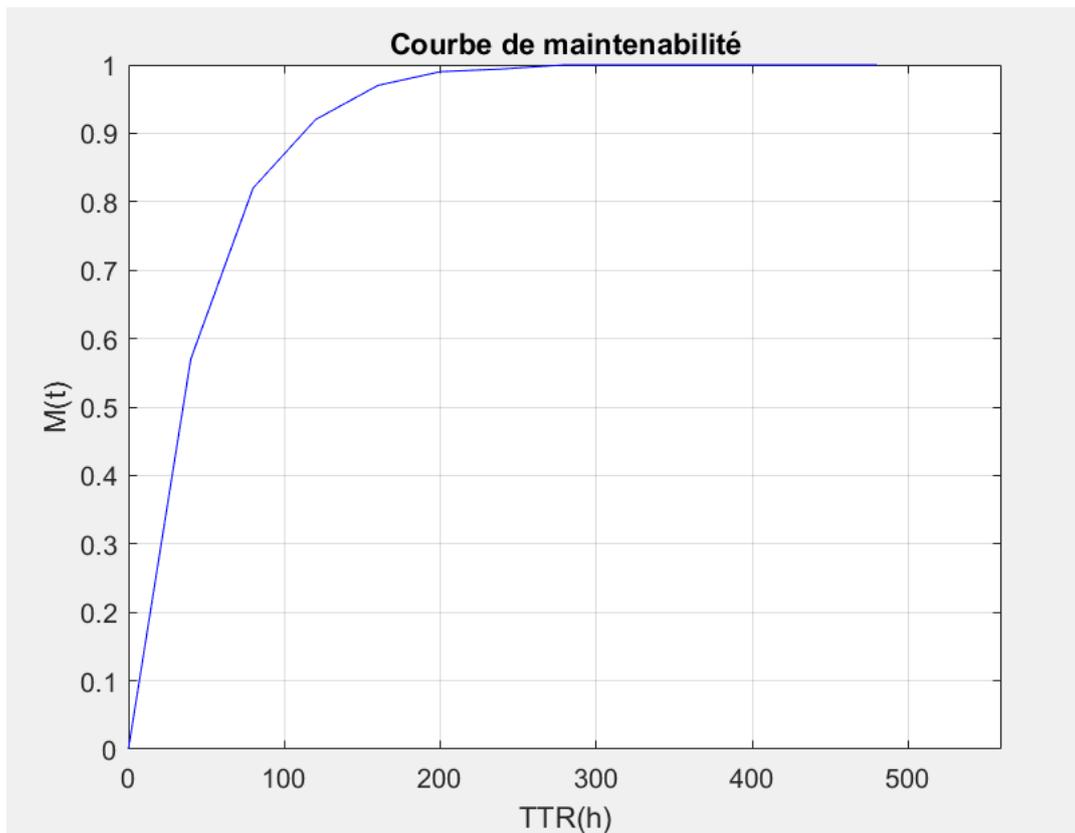


Figure (IV.07) : Courbe de maintenabilité

Analyse de la courbe :

Nous observons à travers La Courbe de Maintenabilité augmente en fonction de temps.

Cette courbe de maintenabilité montre l'évolution de la réparation du compresseur.

IV.3.6 Calcul la disponibilité du compresseur

Disponibilité intrinsèque au asymptotique

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{9339.16}{9339.16 + 46.83} = 0.995$$

Disponibilité instantané

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

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{9339.16} = 0.000107$$

$$MTTR = \frac{1}{\mu} \rightarrow \mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{46.83} = 0.0213$$

$$\mu + \lambda = 0.0213 + 0.000107 = 0.02141$$

$$D(t) = \frac{0.0213}{0.0213+0.000107} + \frac{0.000107}{0.000107+0.0213} e^{-t(0.000107+0.0213)}$$

Tableau (IV.10) : Tableau de disponibilité

T(h)	40	80	120	160	200	240	280	320	360	400	440	480
D(t)	0.997	0.996	0.9952	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995

Courbe de la disponibilité

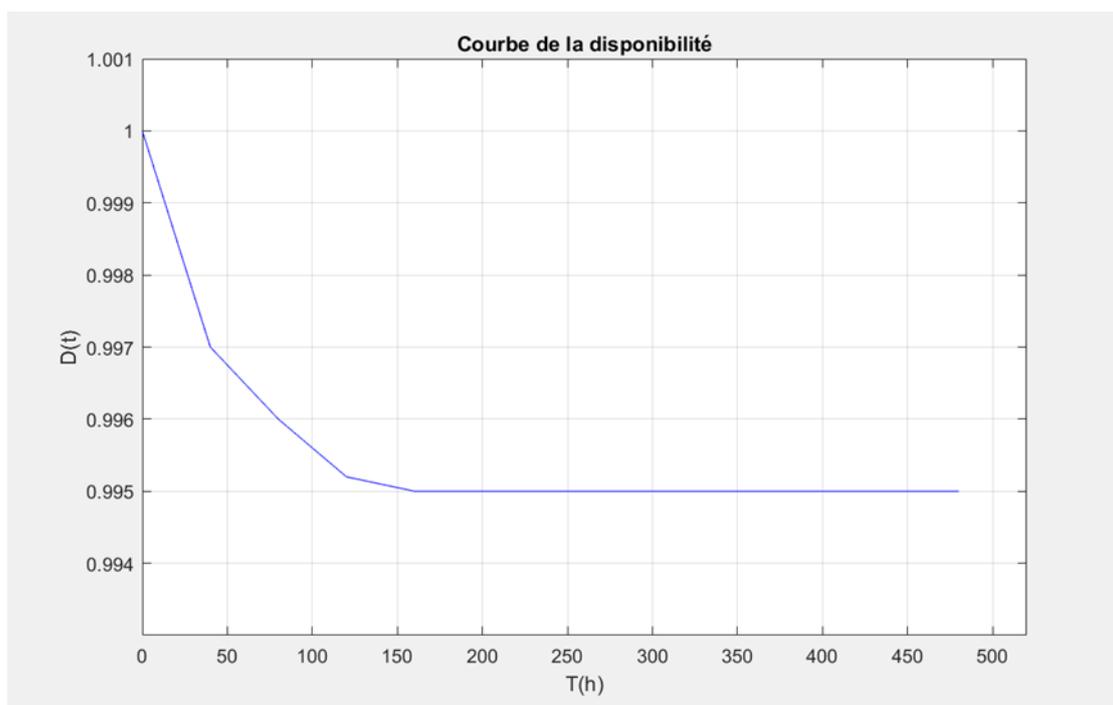


Figure (IV.08) : Courbe de la disponibilité

Analyse de la courbe

Pour accroître la disponibilité d'un compresseur, il est nécessaire de réduire le nombre d'arrêts (augmenter sa fiabilité) et de minimiser le temps requis pour résoudre les problèmes à l'origine de ces arrêts (améliorer sa maintenabilité). En effet, la disponibilité diminue avec le temps.

IV.4 Etude AMDEC

La méthode AMDEC est une procédé employé dans le développement de produits et de procédés afin de réduire les risques d'échecs et de consigner les mesures prises lors de l'évaluation d'un processus. Elle est également conçue pour être utilisée dans le cadre d'actions préventives. [7]

Tableau (IV.11) : Tableaux AMDEC

PME :		Analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leurs criticités								
Sous-système : compresseur REGATTA 215		DATE :								
L'élément	fonction	Modes de défaillance	Cause	effet	detection	Criticité				Action
						F	G	D	C	
Filtre à air	Filtration d'air	Pas de filtration	Filtre encrassé	L'installation n'atteint pas la pression de refoulement	visuel	3	3	1	9	Nettoyage de filtre
Regulateur d'aspiration	Réglage d'aspiration d'air	Pression trop élevée sur l'affichage de pression	le régulateur d'aspiration ne ferme pas	La pression De marche à vide est trop élevée	visuel	2	3	1	6	Verification de regulateur d'aspiration
La courroie	Connection de moteur avec le compresseur	Des Bruits	L'usure de courrie	Degradation sur la marche de système	auditif	2	3	1	6	Changement de courrie
Ventilateur d'air de refroidissement	refroidissement de compresseur	Température trop élevée sur l'affichage de température	Ventilateur defectueux	La tempetature de compresseur est trop élevée	visuel	2	4	1	8	Changement de Ventilateur
Clapet anti retour	Ne laissez pas de l'huile mélange avec l'air	Découverte de l'huile dans le filtre à air	Clapet anti retour defectueux	De l'huile dans le filtre à air	visuel	1	4	1	4	Changement de clapet anti retour
Filtre d'huile	Filtration d'huile	Pas de filtration	Filtre déchiré	Marche dégradée	Auditif	1	3	1	3	Changement de filtre

IV.5 conclusion

Dans ce chapitre, il est possible de conclure que la FMD joue un rôle crucial dans l'industrie, en particulier pour les méthodes de calcul des instruments d'entreprise tels que les composants de compresseur. Ces méthodes ont permis de suivre de près les problèmes et de choisir une meilleure politique de maintenance, ce qui a entraîné une amélioration significative du travail. Cependant, malgré sa simplicité, la méthode AMDEC peut être fastidieuse et nécessite souvent beaucoup de travail. Néanmoins, l'AMDEC offre une autre perspective sur le système, ainsi que des supports pour la réflexion, la prise de décision et l'amélioration, ainsi que des informations à prendre en compte dans les études de sûreté de fonctionnement et les actions à entreprendre. Pour maintenir la fiabilité du compresseur à 80%, il est nécessaire d'intervenir systématiquement toutes les 906.46 heures. Certaines actions préventives pour le compresseur peuvent être envisagées.

Plan de maintenance preventive	Machine : Compresseur REGATTA 215					
Operation executable en fonctionnement	Executant	Fréquence				
Operations		J	M	T	S	A
Vérifier les pressions	Mécanicien	X				
Vidanger d'huile	Mécanicien				X	
Verifier l'ouverture du regulateur d'aspiration	Mécanicien			X		
Remplacer le jeu de courroies trapézoïdal	Mécanicien					X
Nettoyage du filtre d'air	Mécanicien				X	
Verifier le circuit électrique et capteurs	Electricien					X
Remplacer les filtres	Mécanicien					X
Date :	J= jour, M mensuel, T = trimestrielle, S = semestrielle- A = annuelle					

Conclusion générale

Conclusion générale

À la fin de notre enquête, nous avons pu observer et conclure que la définition de la panne et la compréhension des phénomènes de défaillance et de dégradation des équipements sont extrêmement importants.

En conséquence, Grâce à une analyse approfondie de la Fiabilité et de la Disponibilité, il est possible d'acquérir une compréhension plus poussée des comportements, ce qui facilite la sélection d'une stratégie de maintenance optimale. Cette approche permet de diminuer les périodes d'inactivité, l'indisponibilité ainsi que les dépenses liées à la maintenance, afin de réaliser la meilleure organisation de maintenance possible.

- Pour parvenir à une meilleure compréhension des problèmes du système et déterminer les domaines d'amélioration prioritaires à aborder, nous avons entrepris une étude en examinant attentivement l'historique existant. Cette analyse a été réalisée en se basant sur les enregistrements des arrêts de l'unité de compresseur, qui ont servi de référence pour l'application de la règle du 20/80 (diagramme de Pareto) et l'identification des causes des problèmes.

Dans ce mémoire, nous avons présenté des indicateurs FMD pour la maintenance d'un compresseur à vis REGATTA 215. La problématique liée à la prise en compte de la Fiabilité, de la Maintenabilité et de la Disponibilité de l'équipement a été étudiée. Cette étude nous a permis de proposer un intervalle de temps pour une maintenance systématique, qui est de 906,46 heures.

Durant notre étude, nous avons constaté que l'amélioration de la Fiabilité-Maintenabilité-Disponibilité joue un rôle important dans la réduction régulière des dépenses internes et externe de maintenance

Références Bibliographique

Références bibliographiques

1. <https://www.google.dz/maps/place/ALFAPIPE/@35.1004338,6z/data=!4m2!3m1!10x126429adb2f3e009:0x51d2bf248d1957d8?hl=fr> (2015).
2. CHARA, R. and F. DAHA, DIAGNOSTIC DES PANNES D'UNE MACHINE DE PRODUCTION PAR LES METHODES DE MAINTENANCE. 2021.
3. Feghouli, M. and M. Farradj, Calcule FMD d'un compresseur à vis. 2020, Université Ibn Khaldoun-Tiaret-.
4. BENREZZAK, S., Étude de la performance d'un Compresseur centrifuge multi-étagés K101 A de la station d'Oued Noumer. 2012.
5. Cheurfi, A. and S. Amarache, Etude et maintenance du compresseur centrifuge BCL-406 problème d'encrassements. 2017.
6. Henda, S. and D. Nabil, Analyse de fonctionnement de compresseur par l'application de l'AMDEC (compresseur de la mine de Boukhadra). 2016.
7. HERROU, B. and M. Elghorba, L'AMDEC un outil puissant d'optimisation de la maintenance, application à une moto compresseur d'une PME marocaine-Ecole Nationale Supérieure d'Electricité et de Mécanique. Casablanca, Morocco, 2005.
8. Destoop, T., Compresseurs volumétriques. 1989: TI.
9. U. O. OUSTANI Mebrouk et NEDJAA Mohammed Mokhtar / Thème: ETUDE MAINTENANCE PREVENTIVE D'UN TURBOCOMPRESSEUR PAR ANALYSE DES HUILES / Mémoire Master
10. GICA données de ciment-touggourt-
11. <https://www.google.dz/maps/place/ALFAPIPE/@35.1004338,6z/data=!4m2!3m1!10x126429adb2f3e009:0x51d2bf248d1957d8?hl=fr> (2015).
12. (2010; Available from: <http://www.alfapipedz.com/spip.php?article12>)
13. Doc stage ALFAPIPE
14. Cours strategie de maintenance
15. HATHAT Abdelkader et DEBLAOUI Hicham Etude analytique FMD d'une turbine DR990 / Mémoire Master. 2014/2015: Université Ouargla.

16. CEDRIE, (COURS MAINTENANCE INDUSTRIEL CH1). 2009/2010.
17. Imane Rezgi., cour maintenance industriel 2017: univ ouargla.
18. Ladraa Aïcha, O.N., projet de fin d'étude (Maîtrise et Fiabilisation des compresseurs de secteur adaptation de la laverie DAOUI). 15-06-2015: Université Sidi Mohammed Ben Abdellah Fès.
19. FAID, O., Optimisation de la fiabilité d'un système électromécanique. 2018, Université Mohamed Boudiaf-M'sila.
20. BELHOMME, A., Cours de stratégie de maintenance 2010/2011.
21. https://fr.wikipedia.org/wiki/Compresseur_m%C3%A9canique#.C3.80_palettes.
22. Maamoune Saad, L.N., Thème (Adaptation d'un nouveau système d'étanchéité (la garniture sèche) au compresseurs K201B). 2010/2011: université Kasdi Merbah-ouargla.

ANNEXE

Annexe 01**Tableau de loi KOLMOGOROV-SMIRNOV**

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

Annexe 02

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

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