

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université M'Hamed Bougara Boumerdes



Faculté de Technologie
Département Génie Mécanique

Mémoire de Fin de cycle

En vue de l'obtention du diplôme de **Master** en :

Filière :

Génie industriel

Spécialité :

Génie industriel

THÈME

Fiabilité et analyse appliquée sur un compresseur
centrifuge 4V-8

Réalisé par :

- ZIDANI Seif-eddine
- HEDED Mamoun

Promoteur :

- Dr SIGUERDJIJENE Hakim

Remerciements

Nous remercions dieu le tout puissant de nous avoirs donné la force et la patience qui nous ont permis de mener à terme ce travail.

Nous remercions Mr le chef département mécanique de nous avoir donné la chance de se perfectionner dans notre domaine en intégrant ce stage pratique dans le programme d'étude.

Nous tenant à présenter nos sincères remerciements ainsi que notre profonde gratitude à notre encadreur Dr SIGUERDJIJENE Hakim pour tous ses conseils judicieux et son soutien tout au long de la préparation de ce travail.

Nous remercions également Mr le directeur de la SONATRACH, qui a eu l'amabilité de nous accueillir comme stagiaires au sein de son entreprise; ainsi que tout le personnel de l'entreprise pour leur coopération professionnelle tout au long de ce mois de stage.

On exprime notre reconnaissance et nos remerciements à Mr OUAHDI Azzedine le responsable du stage, aux deux ingénieurs SEHRAOUI Abderrahim et HIMER Slimane et au chef de service exploitation Mr GUERGEB Nabil pour leur patience, leur disponibilité et leur apport fructueux.

Merci à tous

Seifeddine. Z et Mamoun. H

Dédicace

Avec l'expression de ma reconnaissance, Je dédie ce modeste travail

A l'hommage de mes grands parents.

A mes très chers parents.

Papa, ce grand homme, toujours près à me tendre la main lorsque j'en ai besoin, ce repère toujours présent pour guider mes pas, ce merveilleux père qui n'a jamais hésité à tout sacrifier.

Maman, cette amie qui m'a donné la vie, cette déesse de douceur toujours prête à dire que tout ira bien, cette maman, qui partage avec nous la joie et la peine avec tout son cœur.

A mes chers frères et sœurs.

A mes chers amis qui ont été à mes côtés et m'ont toujours soutenu.

A mon binôme et sa famille.

Ainsi qu'à tous mes camarades de la promotion de génie industriel.

A tous les membres de ma famille

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.

Z.Seïfeddine

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

*A ma mère qui m'a entouré d'amour, d'affection et qui
fait tout pour ma réussite.*

*Qu'elle trouve ici le témoignage de ma profonde
reconnaissance.*

*A mon père qui m'a soutenu et encouragé durant ces
années d'études.*

A mes frères et ma sœur.

*A mes amis qui m'ont toujours encouragé, et à qui je
souhaite plus de succès.*

A mon binôme et sa famille.

*Enfin pour être sûr de n'avoir oublié personne, Je dédie ce
travail à tous ceux que je connais de loin ou de près.*

H. Mamoun

Résumé

L'industrie a besoin de plus en plus d'être rénovée. C'est la raison pour laquelle l'automatisation des unités de production est devenue, de nos jours une nécessité absolue.

Dans le présent manuscrit, nous avons étudié le fonctionnement du compresseur centrifuge au niveau de l'entreprise SONATRACH nous a permis de comprendre ses constitutions et fonctionnement pour cela on a élaboré une historique de pannes de la machine, pour pouvoir faire une analyse ABC.

Dans le but de déterminer les différentes zones de criticités de l'ensemble d'équipements afin d'en déterminer les plus critique qui seront l'objet prioritaire pour établir le diagramme d'ISHIKAWA. Et faire une étude de défaillance en utilisant la méthode d'AMDEC qui permet de faire ressortir les points faibles du compresseur.

Mots clés : ABC, DÉFAILLANCES, FIABILITÉ, AMDEC ET ISHIKAWA.

Abstract

The industry has necessarily needed to be renovated. This is why the automation of different parts of production had to be required.

In this work, we have studied the functioning of centrifugal compressor in the company SONATRACH for that we elaborated a history of breakdowns of the machine, to be able to make an ABC analysis.

Our aim is to quote the different areas of criticality of the set of equipment in order to determine the most critical which will be the priority object for establishing the ISHIKAWA diagram. And carry out a failure study using the AMDEC method which highlights the weak points of the compressor.

Keyword: ABC, FAILURES, RELIABILITY, AMDEC, ISHIKAWA.

ملخص

الصناعة في حاجة متزايدة للتجديد. هذا هو السبب في أن أتمتة وحدات الإنتاج أصبحت ضرورة اليوم مطلقة.

في هذا العمل ، قمنا بدراسة كيفية تشغيل ضاغط الطرد المركزي على مستوى الشركة SONATRACH مما سمح لنا بفهم مكوناتها و كيفية تشغيلها، لهذا قمنا بوضع تقويم تواريخ انهيار الجهاز ، حتى نتتمكن من إجراء تحليل ABC.

هدفنا من هذا العمل هو الاستشهاد بمختلف المجالات ذات الأهمية الحرجة لمجموعة المعدات من أجل تحديد الأكثر أهمية والذي سيكون هدفًا ذا أولوية لإنشاء مخطط ISHIKAWA. و القيام بإجراء دراسة فشل باستخدام طريقة AMDEC مما يجعل من الممكن إبراز نقاط ضعف الضاغط.

الكلمات المفتاحية: ABC, العطب, النجاعة, AMDEC, ISHIKAWA.

Table des matières :

Résumé.....	
Abstract	
ملخص.....	
Liste des figures :	
Liste des tableaux :	
Notation et abréviation :	
Introduction générale :	1

CHAPITRE 01: Présentation de l'entreprise

I Introduction :	2
II Historique de la région d'In-Amenas :	2
III Situation géographique :	4
IV Position des différents champs :	4
V Organigramme de la direction régional d'In Amenas (DRI) :	6
VI Activités de la division production In Amenas :	7
VII Champs Edjeleh :	8
VII.1 Section d'huile :	8
VII.1.1 Installations principales :	8
VII.1.2 Les centres de séparation :	8
VII.1.3 Section de maintien de pression MPDL :	9
VII.2 L'unité de récupération de gaz torchés Edjeleh RGTE :	9
VII.2.1 La section soufflante :	10
VII.2.2 La section de compression :	10
VII.3 Description générale du PROCESS de l'RGTE :	13
VIII Conclusion :	14

CHAPITRE 02: Généralités sur les compresseurs centrifuges

IX Introduction :	15
IX.1 But de la compression :	15
IX.2 Classification des compresseurs :	15
IX.2.1 Les différentes applications :	16
IX.3 Description générale du compresseur centrifuge :	16
IX.4 Les types de compresseurs centrifuges :	17
IX.4.1 Compresseurs avec corps ouverts horizontalement (Split) :	17

IX.4.2	Compresseurs avec corps ouverts verticalement (barrel) :	18
IX.4.3	Compresseur avec corps en forme de cloche :	19
IX.4.4	Compresseur de canalisation :	19
IX.4.5	Compresseur SR :	20
IX.5	Explication du numéro du modèle :	20
IX.6	Types de compresseurs utilisés à Edjeleh :	21
IX.7	Principe de Fonctionnement du Compresseur 4V-8 :	21
IX.7.1	Courbe de performance d'un compresseur centrifuge :	23
IX.7.2	Limites d'utilisation importantes :	23
IX.8	Éléments constitutifs du compresseur :	24
IX.8.1	Le corps de compresseur :	24
IX.8.2	Ensemble rotor du compresseur :	25
IX.8.3	Les paliers :	25
IX.8.4	Diaphragme :	26
IX.8.5	Disque de butée :	27
IX.8.6	Tambour d'équilibrage:	28
IX.8.7	Dispositif d'étanchéité :	28
IX.9	Conclusion :	30

CHAPITRE 03: Généralités sur la maintenance

X	Introduction :	31
XI	Définition :	31
XI.1	Les objectifs du diagnostic :	31
XI.2	Localisation des défaillances :	32
XI.3	Différentes formes de la maintenance :	32
XI.3.1	La maintenance préventive:	32
XI.3.2	La maintenance corrective :	33
XI.4	Les moyens de la maintenance :	34
XI.4.1	Moyens humains :	34
XI.4.2	Moyens matériels :	34
XI.4.3	Documentation :	34
XI.4.4	Types de documents :	35
XI.5	Les temps de la maintenance :	36
XI.5.1	La MTBF :	36
XI.5.2	La MTTR :	36

XI.5.3	La MTTA :.....	36
XI.6	Niveaux et échelons de maintenance :.....	37
XI.6.1	Les niveaux de maintenance : (norme FD X 60-000).....	37
XI.6.2	Les échelons de maintenance : (norme FD X 60-000).....	38
XI.7	Paramètre d'usure :.....	38
XI.7.1	Définition :.....	38
XI.8	Étude de la fiabilité :.....	39
XI.8.1	Introduction :.....	39
XI.8.2	Définition :.....	39
XI.8.3	Intérêt de l'étude de la fiabilité :.....	39
XI.8.4	Objectifs et intérêts de la fiabilité en mécanique :.....	39
XI.8.5	Lois de fiabilité :.....	40
XI.9	Outils d'analyse des défaillances :.....	40
XI.9.1	LE MODELE DE WEIBULL :.....	40
XI.9.2	La Maintenabilité :.....	47
XI.9.3	La disponibilité :.....	48
XI.10	Diagramme causes-effet (ISHIKAWA ou en ARRÊTE DE POISSON)	49
XI.11	LA METHODE A.B.C :.....	50
XI.11.1	Définition :.....	50
XI.11.2	But :	50
XI.12	Analyse fonctionnelle :.....	51
XI.12.1	LE S.A.D.T. : ANALYSE DESCENDANTE ET LIENS INTER -FONCTIONNELLE.....	51
XI.12.2	LA PIEUVRE :.....	51
XI.13	Étude AMDEC :.....	52
XI.13.1	Définition :.....	52
XI.13.2	Objectifs de l'AMDEC :.....	52
XI.13.3	Méthodologie d'une AMDEC :.....	52
XI.13.4	Types de l'AMDEC :.....	52
XI.14	Conclusion :.....	53

CHAPITRE 04: Application pratique et interprétation des résultats

XII	Introduction :.....	54
XII.1	Historique des pannes :.....	54
XII.2	La Méthode ABC(PARETO) :	54
XII.3	Calcul des paramètres de Weibull :.....	55

XII.4	Test (KOLMOGOROV SMIRNOV)	56
XII.5	Exploitation des paramètres de Weibull :	57
XII.5.1	Le MTBF :	57
XII.5.2	La densité de probabilité en fonction de MTBF :	57
XII.5.3	La fonction de répartition en fonction de MTBF :	57
XII.5.4	La fiabilité en fonction de MTBF :	57
XII.5.5	Le taux de défaillance en fonction de MTBF :	57
XII.5.6	Calcul du temps souhaitable pour une intervention systématique : $R(t)=90\% \Rightarrow t=?$ 57	
XII.6	Étude de modèle de Weibull :	58
XII.6.1	La fonction de la densité de probabilité :	58
XII.6.2	Fonction de répartition $F(t)$:	59
XII.6.3	Fiabilité $R(t)$:	60
XII.6.4	Le taux de défaillance $\lambda(t)$:	61
XII.6.5	Calcul de la Maintenabilité du compresseur :	62
XII.6.6	Calcul de la disponibilité du compresseur :	63
XII.7	Diagramme causes-effet (ISHIKAWA (5M) ou en ARÊTE DE POISSON) :	64
XII.7.1	Analyse du défaut de fonctionnement d'éléments de compression :	64
XII.8	Analyse fonctionnelle :	64
XII.8.1	LE S.A.D.T. : ANALYSE DESCENDANTE ET LIENS INTER-FONCTIONNELLE :	64
XII.8.2	LA PIEUVRE (compresseur) :	65
XII.9	Étude AMDEC :	66
XII.9.1	Calcul la criticité :	66
XII.9.2	Tableau d'AMDEC :	68
XII.10	Conclusion :	69
XIII	Conclusion générale :	70
	Annexes :	
	Liste des références bibliographique :	

Liste des figures :

Figures chapitre 01

Figure 1 Puits DEGAULL.....	3
Figure 2 Position géographique d'In Amenas	4
Figure 3 Les champs pétroliers de la région INAS	5
Figure 4 Organigramme de la direction régionale d'in-amenas.....	6
Figure 5 Organigramme de la division maintenance.....	6
Figure 6 Vue d'un centre de séparation (CS05) et son schéma	9
Figure 7 Schéma de la section soufflante.....	10
Figure 8 La section de compression.....	11
Figure 9 La turbine à gaz SIEMENS GT10	12
Figure 10 Schéma de l'unité de déshydratation.....	12
Figure 11 Schéma simplifié de process de l'RGTE.....	13

Figures chapitre 02

Figure 12 Classification des compresseurs	15
Figure 13 Le choix d'un compresseur.....	16
Figure 14 Compresseur centrifuge	17
Figure 15 compresseur (Horizontal)	18
Figure 16 compresseur 4V- 8 (Vertical)	18
Figure 17 Compresseur avec corps en forme de cloche.....	19
Figure 18 Compresseur de canalisation	19
Figure 19 Compresseur SR	20
Figure 20 Codification de compresseur 4V-8	21
Figure 21 Schéma d'une roue mobile - triangle des vitesses	23
Figure 22 limite de pompage.....	24
Figure 23 Le corps de compresseur du 4V-8	24
Figure 24 Ensemble rotor du 4V-8.....	25
Figure 25 palier de buté.....	26
Figure 26 diaphragme (4V-8).....	27
Figure 27 disque à butée et son emplacement.....	27
Figure 28 Labyrinthe de diaphragme	29

Figures chapitre 03

Figure 29: schéma structurelle de la maintenance.	33
Figure 30 Temps caractéristiques lors d'une intervention.....	36
Figure 31 Courbe théorique (densité de probabilité f(t))	42
Figure 32 Courbe théorique (Fiabilité).....	42
Figure 33 la densité, fiabilité et le taux de défaillance.....	43
Figure 34 la densité	43
Figure 35 la densité	44
Figure 36 Courbe théorique (fonction de répartition)	44
Figure 37 Courbe théorique (Taux de défaillance)	45

Figure 38 Schématisation des axes.....	45
Figure 39 Papier de Weibull.....	46
Figure 40 Méthodologie de Weibull	47
Figure 41 Représentation graphique du diagramme de causes à effets.....	50
Figure 42 Courbe A.B.C	50
Figure 43 S.A.D.T	51

Figures chapitre 04

Figure 44 La Courbe de Pareto.....	55
Figure 45 Graphe en papier de weibull	56
Figure 46 Courbe de la densité de la probabilité (Logiciel MATLAB).....	58
Figure 47 La Courbe De Fonction Répartition (logiciel MATLAB).....	59
Figure 48 La Courbe De la Fonction Fiabilité (logiciel MATLAB).....	60
Figure 49 Courbe de taux de défaillance (logiciel MATLAB)	61
Figure 50 La Courbe de Maintenabilité (logiciel MATLAB).....	62
Figure 51 Courbe de la disponibilité	63
Figure 52 Diagramme d'Ishikawa	64
Figure 53 Le S.A.D.T.....	64
Figure 54 La pieuvre	65

Liste des tableaux :

Tableaux chapitre 01

Tableau 1 Les principales découvertes.....	3
Tableau 2 La pression et débit de gaz des différents centres de séparation.....	8

Tableaux chapitre 02

Tableau 3 Paramètres du compresseur 4V-8.....	22
---	----

Tableaux chapitre 03

Tableau 4 Les cinq niveaux de maintenance.....	37
Tableau 5 Outils d'analyse des défaillances.....	40

Tableaux chapitre 04

Tableau 6 Historique des pannes du compresseur 4V-8	54
Tableau 7 Tableau de l'analyse ABC(PARETO)	54
Tableau 8 Tableau de la fonction F(i)	55
Tableau 9 Test (KOLMOGOROV SMIRNOV)	56
Tableau 10 Calcul la fonction de la densité de probabilité	58
Tableau 11 Calcul de la fonction de répartition F(t)	59
Tableau 12 Calcul de fiabilité R(t).....	60
Tableau 13 Calcul du taux de défaillance $\lambda(t)$	61
Tableau 14 Calcul de la Maintenabilité du compresseur	62
Tableau 15 Calcul de la disponibilité du compresseur.....	63
Tableau 16 Fonctions et leurs significations	65
Tableau 17 Les indices de défaillance [14].....	66
Tableau 18 Indice de criticité C [14].....	66
Tableau 19 Tableau d'AMDEC	68

Notation et abréviation :

- **Notations de temps :**

TTR : Temps de réparation.

TBF : Temps de bon fonctionnement.

MTTR : Moyenne des temps techniques de réparation.

MTBF : Moyenne des temps de bon fonctionnement.

- **Notations de loi de Weibull :**

R(t) : Fonction de fiabilité.

F(t) : Fonction de défaillances.

f(t) : Densité de probabilité.

$\lambda(t)$: Taux de défaillance.

μ : temps de réparation.

- **Notations de loi de fiabilité :**

F : Fiabilité.

M : Maintenabilité.

D : Disponibilité.

- **Notations de paramètre de Weibull :**

β : Paramètre de forme.

γ : Paramètre de position.

η : Paramètre d'échelle.

- **Notations d'analyse fonctionnelle :**

SADT : (Structure Analyses Design Technique).

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

Introduction générale :

Le XXI^{ème} siècle est le siècle de la concurrence accrue entre les entreprises. Acquérir des dispositifs de production très sophistiqués ou améliorer les performances des dispositifs déjà existants est incontournable si une entreprise veut survivre.

C'est dans cette dynamique que la SONATRACH a équipé ses unités de production de dispositifs automatiques, performants afin d'augmenter la production en quantité, en réduisant le temps d'exécution et alléger le travail du personnels. C'est pour cela que des outils nouveaux, des machines puissantes en vue et continuent à ce jour dans le but de produire mieux et plus vite possible.

Tous les équipements d'une installation industrielle sont soumis à des mécanismes de dégradation dus aux conditions de fonctionnement et d'environnement : usure, fatigue, vieillissement, altérations physico-chimiques diverses. Face aux défaillances qui en résultent, on peut se contenter de pratiquer un diagnostic, mais on n'évite pas ainsi les conséquences des pannes que l'on subit. Une attitude plus défensive consiste à mettre en œuvre une maintenance préventive destinée à limiter, voire à empêcher, ces défaillances, les coûts...etc.

A cet effet, notre travail consiste à étudier le fonctionnement du compresseur centrifuge 4V-8 pour faire faire l'étude analytique de la maintenance préventive de cette machine.

Ainsi, le présent manuscrit est structuré en quatre chapitres principaux :

- Le premier chapitre présentation de la SONATRACH.
- Le second chapitre décrit la machine.
- Le troisième chapitre généralités sur la maintenance.
- Et le dernier chapitre c'est une partie de calculs et résultats.

CHAPITRE 01 :

Présentation de la SONATRACH

I Introduction :

La Société Nationale de Transport et de Commercialisation des Hydrocarbures "SONATRACH", a été créé le **31 décembre 1963** par décret n°**63-491**. Elle avait pour objet de préparer et de mettre au point les études préalables à la construction des moyens de transport terrestres ou maritimes permettant de véhiculer les hydrocarbures liquides ou gazeux.

Un second décret n°**66-296** du **22 septembre 1966** élargi les missions de la **SONATRACH** à tous les domaines de l'industrie pétrolière, à savoir la recherche, l'exploitation industrielle et commerciale des gisements d'hydrocarbures solides, liquides et gazeux et des substances connexes.

SONATRACH est la première entreprise du continent africain. Elle est classée 12ème parmi les compagnies pétrolières mondiales, 2ème exportateur de **GNL** et de **GPL** et 3ème exportateur de gaz naturel. Sa production globale (tous produits confondus) est de 222 millions de tons en 2004. Ses activités constituent environ 30% du PNB de l'Algérie. Elle emploie 120 000 personnes dans l'ensemble du groupe.

SONATRACH, entreprise citoyenne, œuvre à resserrer les liens sociaux, aider les populations dans le besoin, promouvoir la recherche et les activités scientifiques, aider la création artistique, promouvoir la pratique sportive, contribuer à la préservation de la nature et à la sauvegarde du patrimoine culturel et historique.

Aujourd'hui **SONATRACH** ne conçoit pas de développement économique sans un développement durable.

II Historique de la région d'In-Amenas :

Elle a été édifée dans les années 60 suite à la découverte historique de gisements d'hydrocarbures en **1956** dans son secteur EST.

Première découverte pétrolière dans le sud Algérien le **28 Février 1956** avec le forage du puits **EDJELEH DL101** (puits **DEGAULL**).

- **Date de mise en production** : Juin 1960
- **Débit d'huile à l'origine** : 12 m³/Heure.
- **Pression initiale du gisement** : 37 bars.
- **Densité d'huile** : 0,85.
- **Réservoir** : Carbonifère.

- **Profondeur : 520 m.**



Figure 1 Puits DEGAULL

➤ **Les principales découvertes:**

Tableau 1 Les principales découvertes

Découvertes	Date
EDJELEH	Fév 1956
TIGUENTOURINE	Juin 1956
LA RECULEE	Mars 1957
ASSEKAIFAF	Juin 1958
ZARZAITINE	Nov 1956
TAN AMELLAL	Jan 1960
DOM A COLLINEAS	Jan 1959
OUAN TAREDERT	Déc 1958
EL ADEB LARACHE	Sept 1958
GARA	Août 1962
GARA SUD	Mars 1988

III Situation géographique :

In-amenas est situé dans le sud algérien à **1600 Km** d'Alger, à **730 Km** au dessous de Hassi Messaoud à la frontière Libyenne, au centre de ce qu'on appelle le bassin d'Illizi à **240 Km** de chef-lieu Illizi.

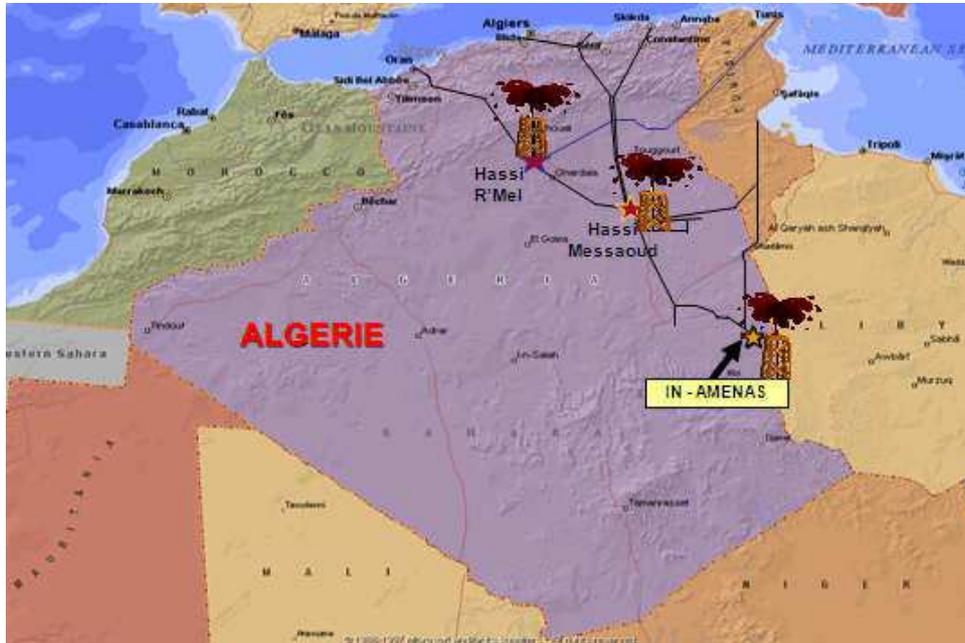


Figure 2 Position géographique d'In Amenas

IV Position des différents champs :

Les différents champs sont positionnés par rapport à la région d'In-Amenas, celle-ci étant située dans le préambule.

- **ZARZAITINE Nord EST** : À 30 km à l'Est D'In-Amenas.

Altitude : 450 à 585 m/Nm.

- **EDJELEH** : À 70 Km (jusqu'à C6) au sud-est d'In-Amenas.

Altitude : 470 à 640 m/Nm. Le relief est accidenté ; avec des escarpements rocheux, falaises et dalles calcaires.

- **TIGUENTOURINE** : À 45 Km (jusqu'à la base SH-DP) au sud-ouest d'In-Amenas sur la route nationale RN5 d'Illizi.

Altitude : 435 à 500 m/Nm. Le relief est plat et mou avec pénétration de cordons dunaires de l'erg Bourarhet.

- **EL ABED LARACHE** : À 120 Km (jusqu'à la base SH-DP) au sud-ouest d'In-Amenas et à 75kms au sud-ouest de Tiguentourine.

Altitude : 500 à 590 m/Nm. Le relief est tabulaire, caillouteux (dalles calcaires) avec falaises sériées.

CHAPITRE 01 : Présentation de la SONATRACH

- **HASSI KIFAF + H K NORD** : À 35 Km au sud EL ABED LARACHE sur la route RN5 d'Illizi.

Altitude : 490 à 525 m/Nm. Le relief est généralement plat avec des recoupements de petites falaises et dûtes direction SW-NE.

- **LA RECULEE** : À 28 Km au sud-ouest d'In-Amenas sur la route nationale RN5 d'Illizi.

Altitude : 542 à 610 m/Nm. Le relief est plat avec de petits escarpements.

- **GARA** : À 39 Km de LA RECULEE à partir de la route nationale RN5 d'Illizi.

Altitude : 520 à 625 m/Nm. Le relief est mou, en partie dunaire.

- **QUAN TAREDER (TRT)** : à 46 Kms au SSW d'EDJELEH sur la limite de l'erg Bourarhet. Les puits se trouvent dans les replats clairement cet Erg. Piste d'accès difficile dans l'erg.

Altitude : 500 à 550 m/Nm.

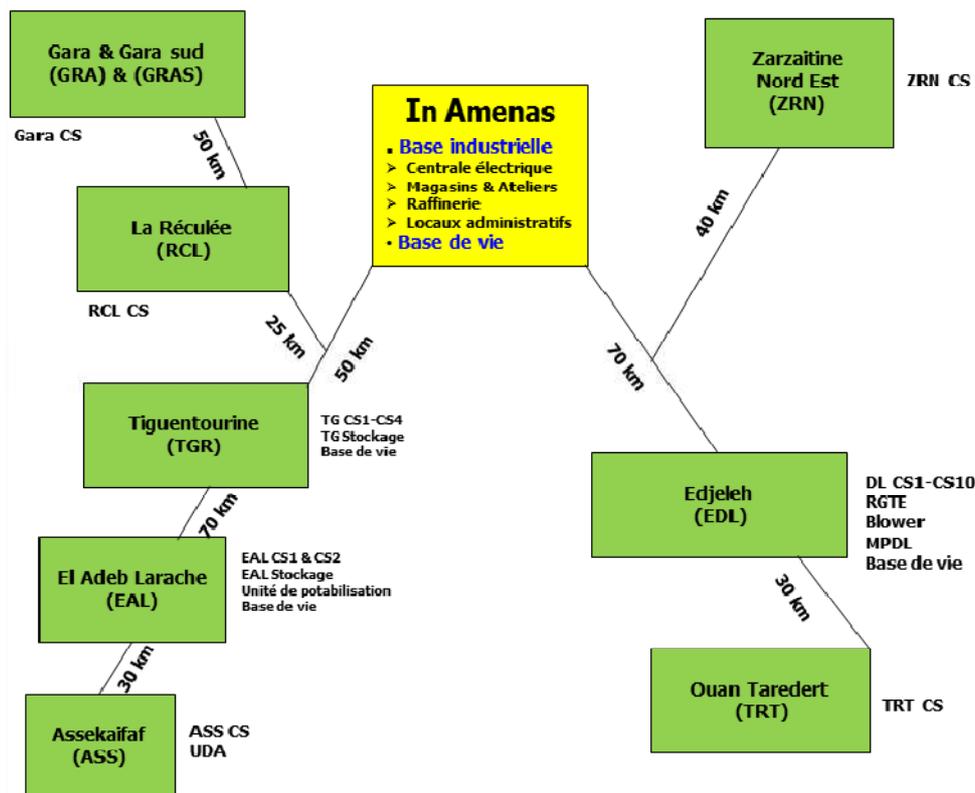


Figure 3 Les champs pétroliers de la région INAS

V Organigramme de la direction régional d'In Amenas (DRI) :

La direction régionale de in-amenas (DRI) de la SONATRACH activité amont est organisée en neuf (9) divisions selon l'organigramme suivant :

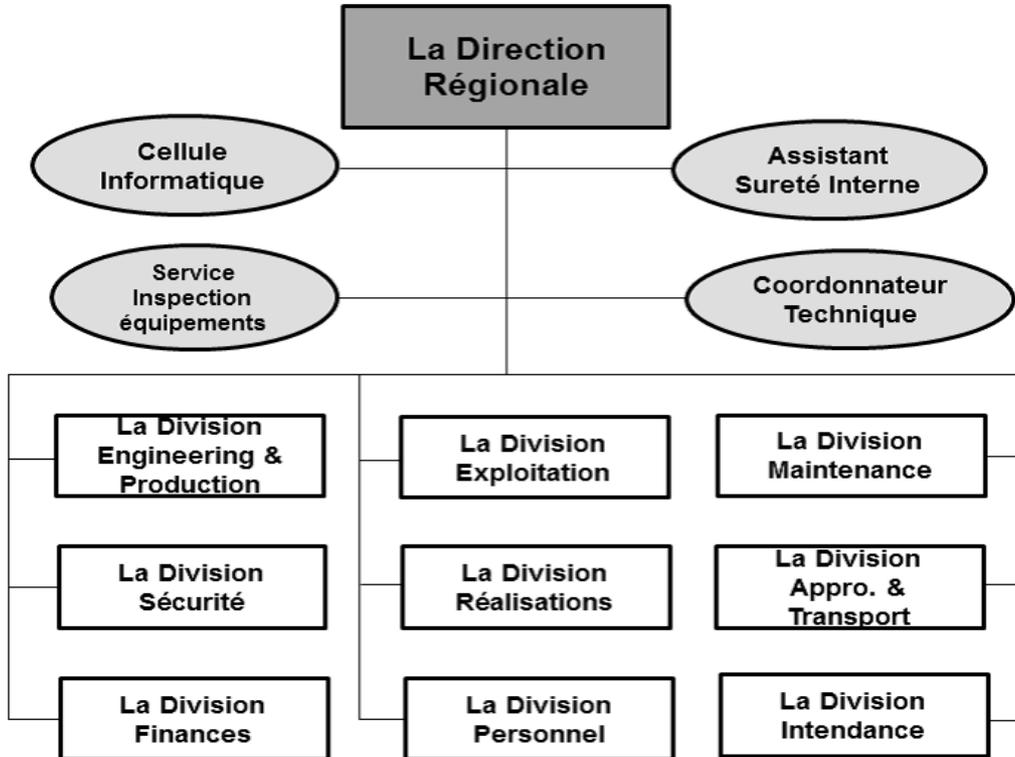


Figure 4 Organigramme de la direction régionale d'in-amenas

Notre stage c'est principalement déroulé au sein de la division maintenance qui se divise en 5 services où on à été orienté vers le service Turbomachines.

La division de maintenance et charger de l'entretien des installations et s'occupe de tous les opérations de maintenance, et elle est composée de six services :

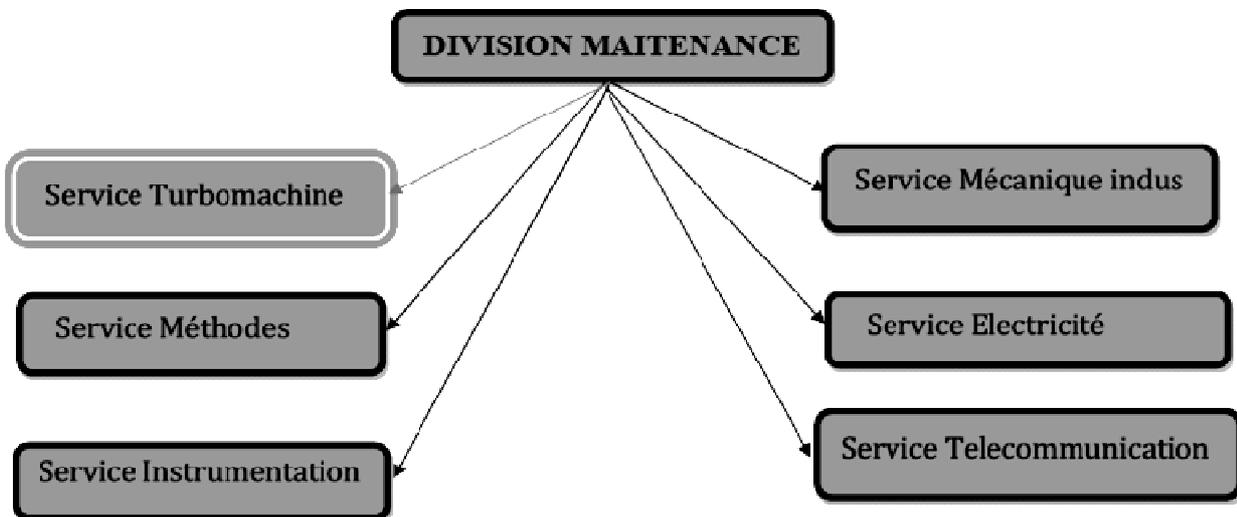


Figure 5 Organigramme de la division maintenance

CHAPITRE 01 : Présentation de la SONATRACH

a. Service turbomachines :

Ce service s'occupe de faire la maintenance des installations de productions de la région IN AMENAS à savoir :

- Les Turbines à gaz.
- Les Compresseur centrifuges, les compresseurs axial et à piston... etc.

b. Service méthode et planning :

C'est un service de coordination entre les autres services, ses fonctions principales sont :

- Établissement des requêtes pour l'achat des pièces de rechange.
- Établissement de plans de maintenance des installations.
- Élaboration des budgets d'équipements d'exploitation et d'investissement.
- Analyse des dossiers technique et historiques des équipements.

c. Service instrumentation :

Ce service s'occupe essentiellement des appareils de mesure et de régulation.

d. Service mécanique industrielle :

Ce service s'occupe essentiellement de la maintenance de différentes pompes d'expédition de brut et les groupes électrogènes de la région.

e. Service électricité :

Se compose de deux sections principales :

- Section distribution.
- Section entretien des installations électrique.

f. Service télécommunication :

Ce service s'occupe des équipements à savoir :

- Radio HT fixe, HT mobile.
- Réseau téléphonique.
- Réseau télégraphique.

VI Activités de la division production In Amenas :

Avec une capacité de production de **1500 m³/jour** environ. L'exploitation du champ, situé dans une zone géographique particulièrement défavorisée, a nécessité l'implantation d'un certain nombre d'équipement.

VII Champs Edjeleh :

Le champ d'Edjeleh est situé dans la partie sud-est du bassin d'Illizi, dans le bloc 241, à environ 60 km au sud-est d'in amenas. Il s'étend sur une superficie d'environ 170km², il comporte les sections suivantes :

VII.1Section d'huile :

VII.1.1 Installations principales :

La production d'huile du gisement d'Edjeleh à un réseau de production et de réinjection permet le transport entre les puits et les divers centres de séparation.

VII.1.2 Les centres de séparation :

Le champ d'Edjeleh comporte 10 centres de séparation, le pétrole et le gaz des puits. Ces centres ont distribués vers les ballons de séparation, la pression de séparation des ballons entre 0 ,3 et 0,6 bar. Les gaz récupérés des centres (CS7, CS8, CS9 et CS10) sont transportés vers la section soufflante.

Le tableau ci-dessous représente la pression et débit de gaz des différents centres de séparation :

Tableau 2 La pression et débit de gaz des différents centres de séparation

Centres	Débit de gaz (m^3 / j)	Pression (bars)
Centre de Séparation 1	48 800	1,90
Centre de Séparation 2	180 320	2,00
Centre de Séparation 3	14 660	1,80
Centre de Séparation 4	40 490	1, 84
Centre de Séparation 5	34 800	1,75
Centre de Séparation 6	28 700	1,60
Centre de Séparation 7	49 800	1,60
Centre de Séparation 8	90 800	1,75
Centre de Séparation 9	150 840	1,90
Centre de Séparation 10	29 000	1,80

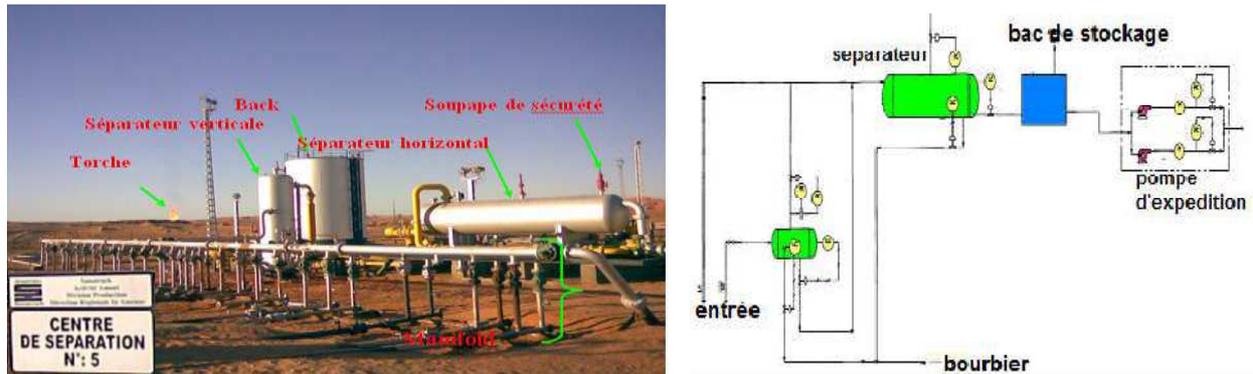


Figure 6 Vue d'un centre de séparation (CS05) et son schéma

VII.1.3 Section de maintien de pression MPDL :

L'unité a pour but le maintien de pression des puits injecteur, elle est mise en service en décembre 1997.

L'eau provenant de la région de STAHL avec un débit de 4500 m³/jr est filtrée et renvoyée vers les 51 puits existants. La station d'injection HP comprend :

- 2 bacs de capacité 5000m³ chacun et deux boosters (190 m³/h à 7 bars, p-75w).
- Une batterie de filtration centrale.
- Deux électropompes (190 m³/h à 65 bars, p-530kw).

VII.2L'unité de récupération de gaz torchés Edjeleh RGTE :

Réalisée en 2005 et Située dans le secteur EST de la région d'INAS, elle a deux objectifs cibles : production et environnement.

L'unité RGTE : Récupération des Gaz Torchés d'EDJELEH a pour but : « la récupération-la compression-la déshydratation et la réinjection» des Gaz habituellement torchés (brulés dans des torches).

Ces gaz résultent des 10 centres de séparation de l'huile produite par les puits d'Edjeleh dont le procédé a pour but d'en garder que le pétrole brute grâce à une séparation qui s'opère à l'intérieur de ces derniers. Le fait de bruler ces GAZ représente un grand problème d'environnement, alors ils sont **récupérés** puis **réinjectés** à très haute pression afin de drainer l'huile des gisements et augmenter la pression des puits, donc améliorer la production.

L'unité se divise en deux sections : la section soufflante et la section compression, la première a pour rôle de refouler le gaz issu des centres de séparation CS 7,8 ,9 et 10 vers l'unité de compression, cette deuxième reçoit aussi le gaz provenant des centres de séparation CS 1,2,3,4,5 et 6 qui sont près d'elle puis comprime et réinjecte ce gaz.

La capacité totale de traitement est de : $1.372 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{j}$.

VII.2.1 La section soufflante :

Les gaz récupérés des quatre centres de séparation CS7, CS8, CS9 et CS10 sont comprimés Par la soufflante de 0,1 bar a 2 ,3 bar, ensuite le gaz comprime est refroidis par les Aéro Réfrigérants à une température de 45°C et envoyé vers la section compression par la Canalisation a basse pression.

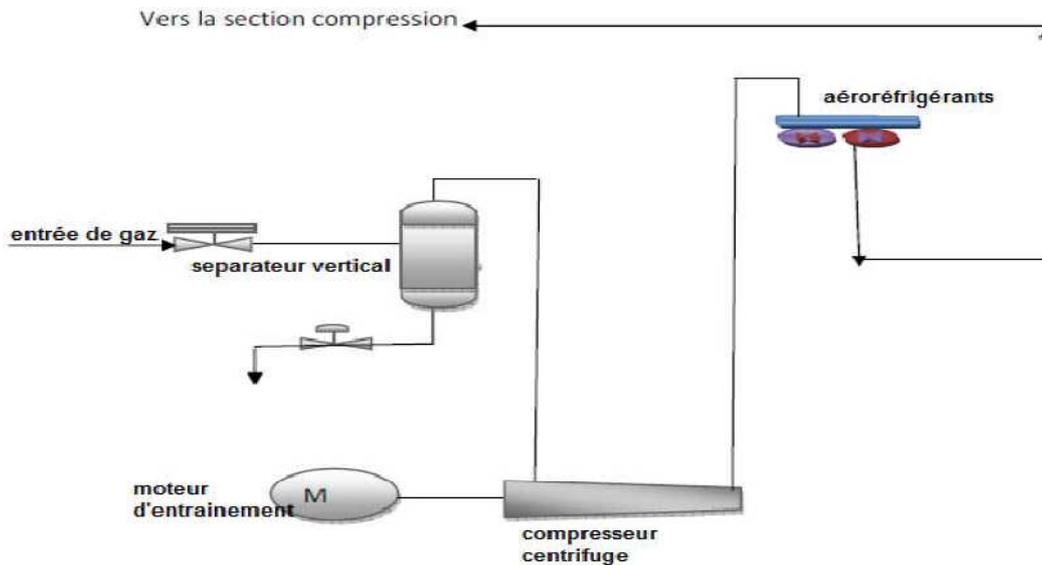


Figure 7 Schéma de la section soufflante

VII.2.2 La section de compression :

Les gaz provenant de la section soufflante et des centres de séparation CS1, CS2, CS3, CS4, CS5 et CS6 sont transportés vers le ballon B1 par le manifold de 32" à une pression 0.1 bar, le compresseur de type centrifuge à quatre étages entraîné par une turbine à gaz de type SIEMENS GT10.

1er étage de compression : Le gaz de ballon B1 est aspiré à une pression de 0.1 bar par le premier étage de compresseur ou il est comprimé jusqu'au 2.6 bar, puis il est refroidis à une température de 55 C° par les aéro-réfrigérants le liquide formé est récupéré au niveau de ballon B2, la pression d'aspiration est réglée par une vanne anti pompage section BP.

2ème étage de compression : Le gaz de ballon B2 est aspiré à une pression de 2.6 bar, par le deuxième étage de compresseur ou il est comprimé jusqu'au 7 bar, puis il est refroidis à une température de 55C° Par les aéro-réfrigérants, le liquide formé est récupéré au niveau de ballon B3.

3ème étage de compression : Le gaz de ballon B3 est aspiré à une pression de 7 bar, par le troisième étage de compresseur Ou il est comprimé jusqu'a 23 bar, puis il est refroidi à une température de 55 C° par les Aéro-réfrigérants, le liquide formé est récupéré au niveau du ballon B4.

4ème étage de compression : Le gaz de ballon B4 est aspiré à une pression de 23 bar, par le quatrième étage de compresseur ou il est comprimé jusqu'à 65 bar, puis il est refroidi à une température de 55 C° Par les aéro-réfrigérants, le liquide formé est récupéré au niveau du ballon B5.

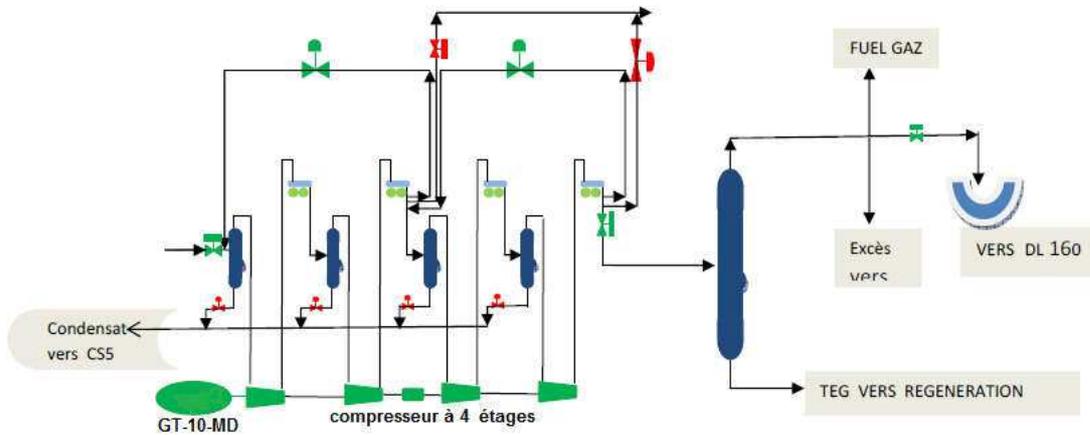


Figure 8 La section de compression

La turbine à gaz :

Les compresseurs qui compriment le gaz sont entraînés par une turbine à gaz de type SIEMENS GT10 (SGT600) bi-arbre, elle fonctionne dans un cycle ouvert simple avec un écoulement d'air et de gaz direct à travers la turbine.

Caractéristiques techniques :

Date de mise en service **2005**

La vitesse de rotation PT **5970 tr/min**

Puissance totale installée **24.5 MW**

La vitesse de rotation GG **9700 tr/min**

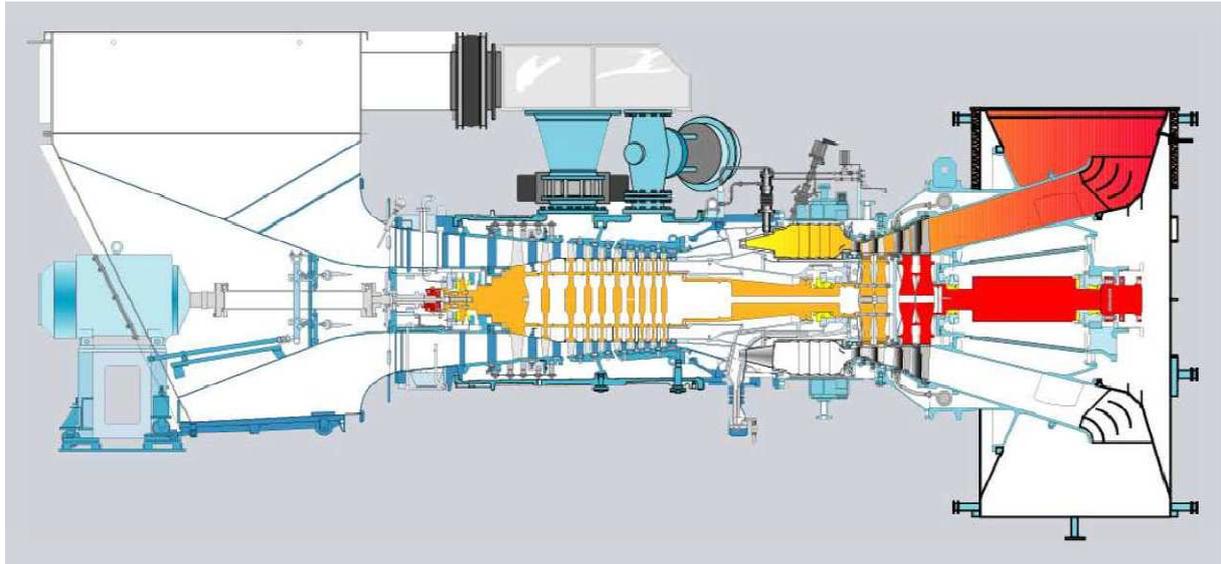


Figure 9 La turbine à gaz SIEMENS GT10

L'unité de déshydratation (TEG) :

Le gaz comprimé est envoyé vers l'unité TEG 20V001 afin d'enlever l'eau contenue pour la protection contre la corrosion et éviter la formation des hydrates. Pour la déshydratation de gaz, on utilise le Tri-éthylène Glycol (TEG) pour diminuer la teneur en eau dans le gaz inférieur à 50ppm.

Le gaz déshydrate dans le contacteur 20V001-C1 à l'aide d'une solution de TEG concentrée à 99,9% et une pression de 65,5 bar et $T=55^{\circ}\text{C}$; le contacteur est une colonne à garnissage avec un piège à gouttelettes à la section supérieure.

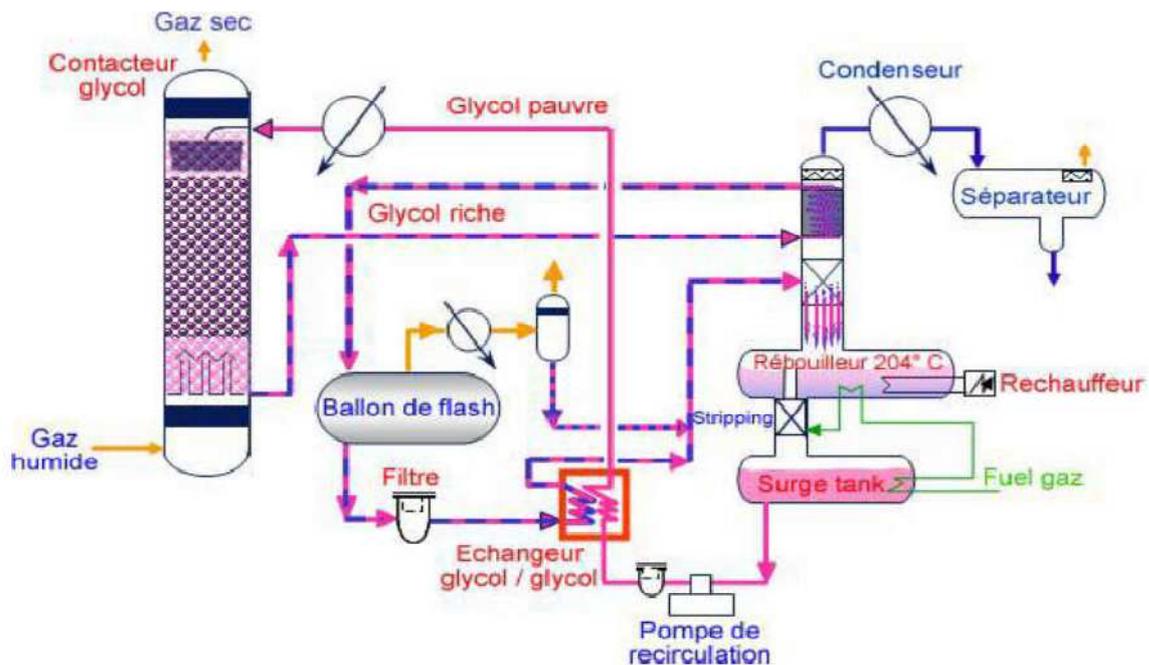


Figure 10 Schéma de l'unité de déshydratation

VII.3 Description générale du PROCESS de l'RGTE :

Le gaz provenant des centres de séparations est acheminé à l'RGTE via des gazoducs qui convergent tous vers un seul principal à l'entrée du processus nommé : **manifold**. Ce gaz Arrive et contient toujours une quantité importante d'eau et parfois même du pétrole brut alors Il passe par un grand séparateur pour enlever les traces de brut puis dans le compresseur Centrifuge à 4 étages entraîné par la Turbine **SIEMENS SGT-600** afin d'être comprimé (à **65 bar**), en suite il passera par un refroidisseur afin de récupérer le condensat.

Après ça, le gaz comprimé et refroidie passera vers l'unité de déshydratation et subira un traitement physico-chimique afin de le dessécher complètement en utilisant du : Tri-Ethylène Glycol (**TEG**) qui jouera le rôle d'une éponge grâce à son affinité avec les molécules d'eau (il En faut : 3,4 m³/h pour 40.000 m³/h de gaz), ainsi le TEG entre en contact avec le GAZ dans une colonne sous des conditions précises. Alors il aspire l'eau qu'il contient et devient du TEG riche en eau qui sera évacué vers un four chauffé à environ 200 °C, en sachant que la Température (T°) d'ébullition du TEG est de 275 °C et celle de l'eau 100 °C, cette dernière S'évapore dans l'air par une cheminée et le TEG est régénéré et circule en circuit fermée.

Maintenant on a en sortie un GAZ SEC sous une pression de 65 bar, à ce moment, il est appelé : GAZ- LIFT, et est prêt à être réinjecté dans les puits pour drainer l'huile des gisements et augmenter la pression des puits producteurs d'or noir.

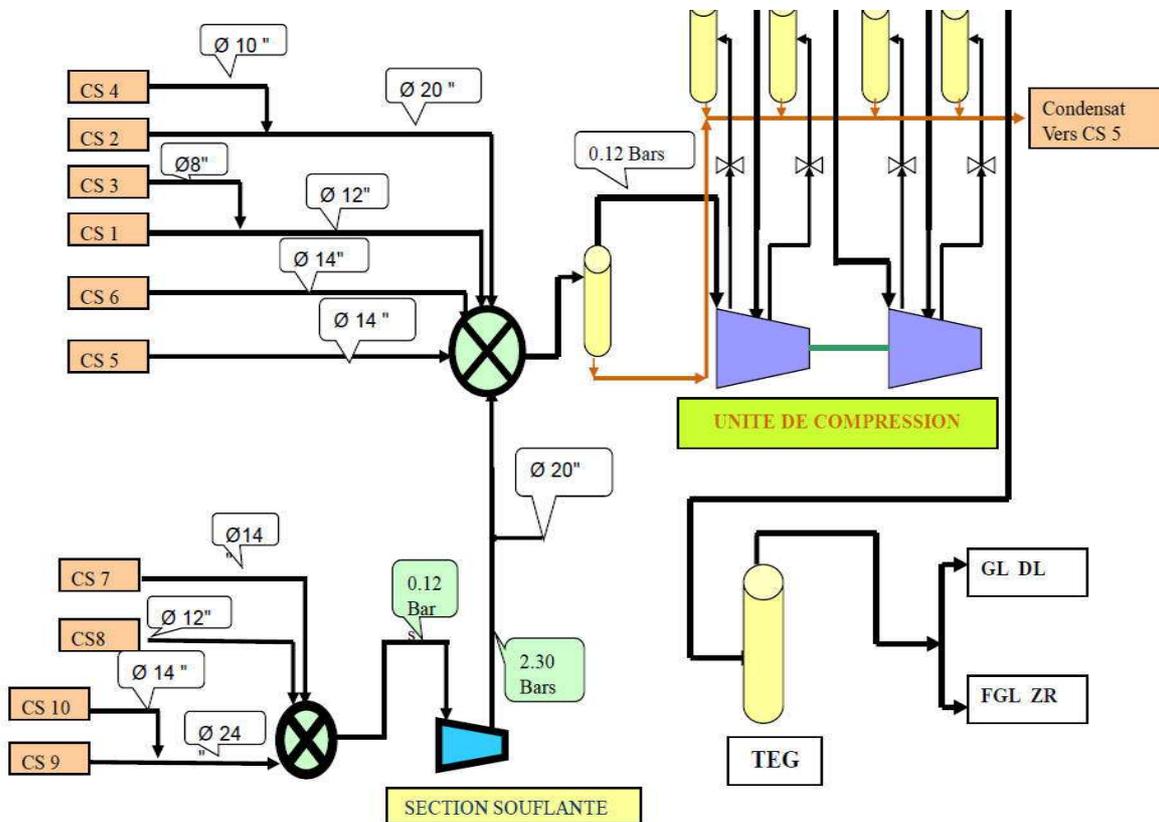


Figure 11 Schéma simplifié de process de l'RGTE

VIII Conclusion :

Dans ce chapitre, on a fait une brève présentation sur la région In Amenas, puis le champ RGTE (Positionnement, process, efficacité..) et leur centres de séparation, aussi la section soufflante (Blower), l'unité de compression, et l'unité de déshydratation.

CHAPITRE 02 :

Généralités sur les compresseurs centrifuges

IX Introduction :

Les compresseurs sont des machines qui transforment l'énergie mécanique fournie par une machine motrice en énergie de pression (en réalisant un accroissement de pression d'un fluide à l'état gazeux).

IX.1 But de la compression :

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

Cette opération a pour but de :

- Faire circuler un gaz dans un circuit fermé.
- Produire des conditions favorables (de pression) pour des réactions chimiques.
- Envoyer un gaz dans un pipe-line de la zone de production vers l'utilisateur.
- Obtenir de l'air comprimé pour la combustion.
- Récupérer du gaz (unités de R.G.T.E ou autres). [1]

IX.2 Classification des compresseurs :

Les compresseurs peuvent être classés selon plusieurs caractéristiques, selon :

- Le principe de fonctionnement (volumétrique, turbocompresseur);
- Mouvement des pièces mobiles (mouvement linéaire, rotatif);
- Les compresseurs d'air;
- Les compresseurs des gaz.

En général il existe deux grandes familles de compresseur, les compresseurs Volumétriques et les turbocompresseurs. Dans les premiers, l'élévation de pression est obtenue en réduisant un certain volume de gaz par action mécanique, dans les Seconds, on augmente la pression en convertissant de façon continue l'énergie cinétique communiquée au gaz en énergie de pression due à l'écoulement autour des Aubages dans la roue. [1]

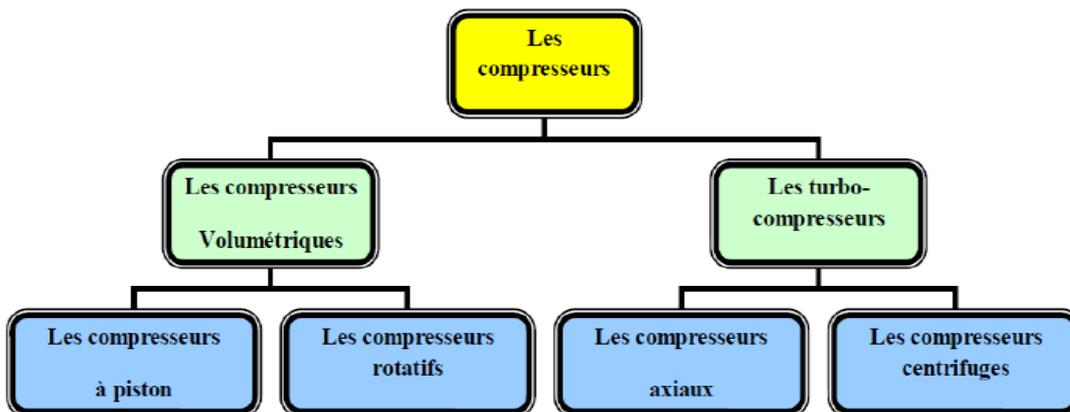


Figure 12 Classification des compresseurs

IX.2.1 Les différentes applications :

Le choix d'un compresseur alternatif ou centrifuge sera tributaire des débits et pressions que l'on souhaite obtenir. D'autres paramètres seront à prendre en compte pour le choix final (taille, poids, prix, etc...) [1]

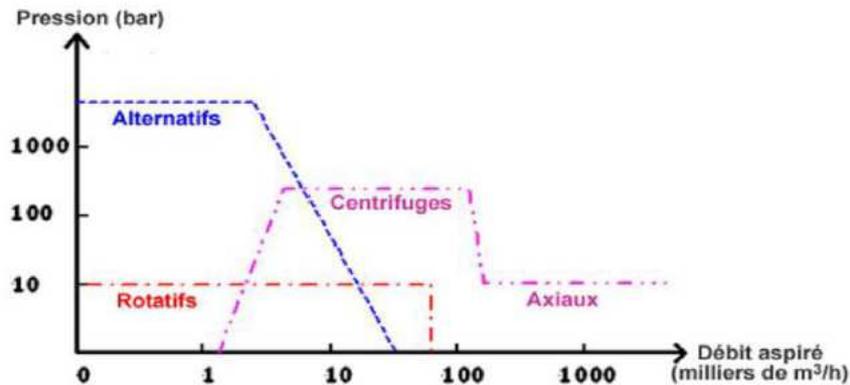


Figure 13 Le choix d'un compresseur

IX.3 Description générale du compresseur centrifuge :

Le compresseur centrifuge est une turbomachine dans laquelle le gaz s'écoule principalement dans le sens radial. L'énergie nécessaire pour augmenter la pression du gaz est fournie en fluide par les aubes d'une roue centrifuge.

Ces aubes divisent la surface latérale de la roue en secteurs servant de canaux d'écoulement, et forment un aubage.

Ce type de machine est constitué par (fig. 14) : un corps extérieur (A) contenant la partie du stator dite ensemble de diaphragmes (B) où est introduit un rotor formé par un arbre (C), une ou plusieurs roues (D), le tambour ou piston d'équilibrage (E), le collet du palier de butée (F).

Le rotor entraîné par la machine motrice tourne sur les paliers porteurs (H), il est gardé dans sa position axiale par le palier de butée (I).

Des dispositifs d'étanchéité à labyrinthe (L), si nécessaire et des étanchéités d'extrémité agissent sur le rotor (M). [2]

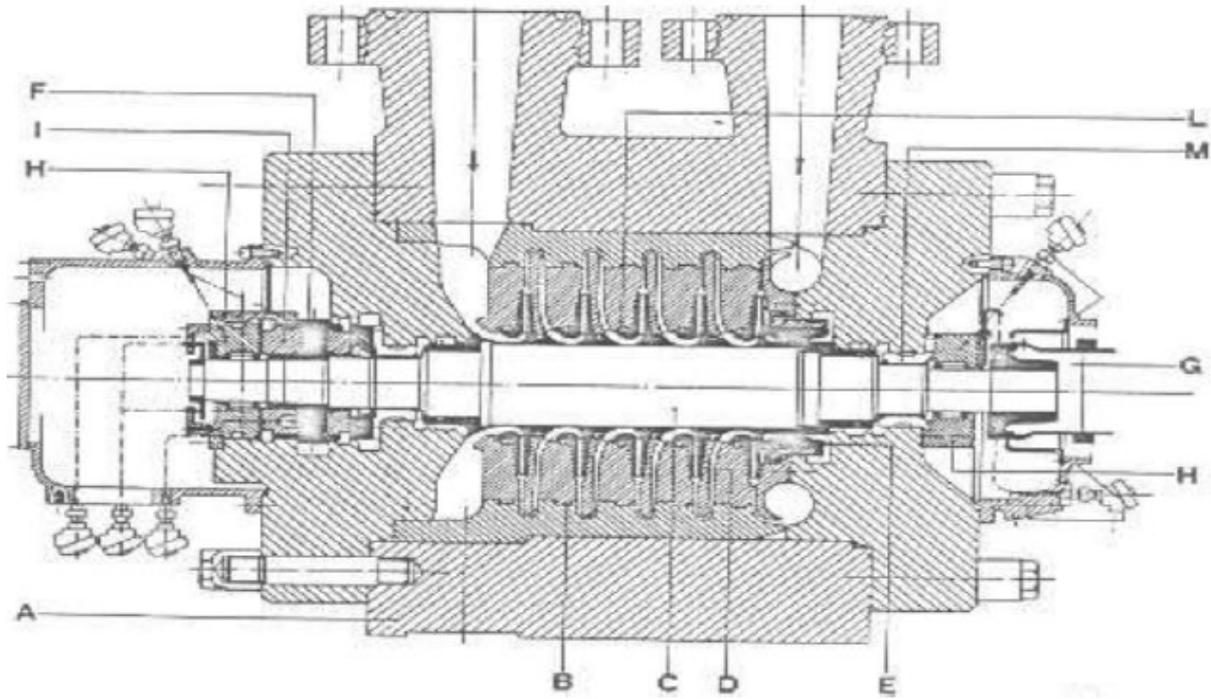


Figure 14 Compresseur centrifuge

IX.4 Les types de compresseurs centrifuges :

Les compresseurs centrifuges ont des formes différentes en fonction du service pour lequel ils doivent être utilisés et de la pression nominale, selon les classifications, on peut adopter les subdivisions suivantes :

IX.4.1 Compresseurs avec corps ouverts horizontalement (Split) :

Les corps ouverts horizontalement, constituent évidemment de demi-corps unis sur le Plan de joint horizontal. Les compresseurs sont utilisés pour de pression de fonctionnement restant au-dessous de 60 bars , les tubulures d'aspiration et refoulement ainsi que celles intermédiaires , s'il y en a les tuyauteries de l'huile de graissage et tous les autres raccordements du compresseur avec le reste de l'installation se font normalement moyennant le demi corps inférieure , grâce à ce système il suffit d'enlever les boulons de liaison du plan de joint horizontal pour pouvoir soulever le demi corps supérieur et accéder facilement à tous les organes internes du compresseur tel que rotor ,diaphragmes et joints a labyrinthe.

Les compresseurs avec corps ouvert horizontalement sont indiqués par sigle H et Prouvent être subdivisés à leur tour suivant les nombres d'étages. [2]



Figure 15 compresseur (Horizontal)

IX.4.2 Compresseurs avec corps ouverts verticalement (barrel) :

Les corps ouverts verticalement sont constitués d'un cylindre fermé aux extrémités Par deux flasques. C'est pour cette raison que ce type de compresseurs est dénommé "barrel". Ces compresseurs, généralement multi-étages, peuvent fonctionner à des Pressions élevées (jusqu'à 700 kgf/cm²) ; (figure 16). [2]



Figure 16 compresseur 4V- 8 (Vertical)

IX.4.3 Compresseur avec corps en forme de cloche :

Les compresseurs barrels à haute pression (Figure 17) ont des corps en forme de cloche et sont fermés par des segments au lieu que par des boulons. [2]

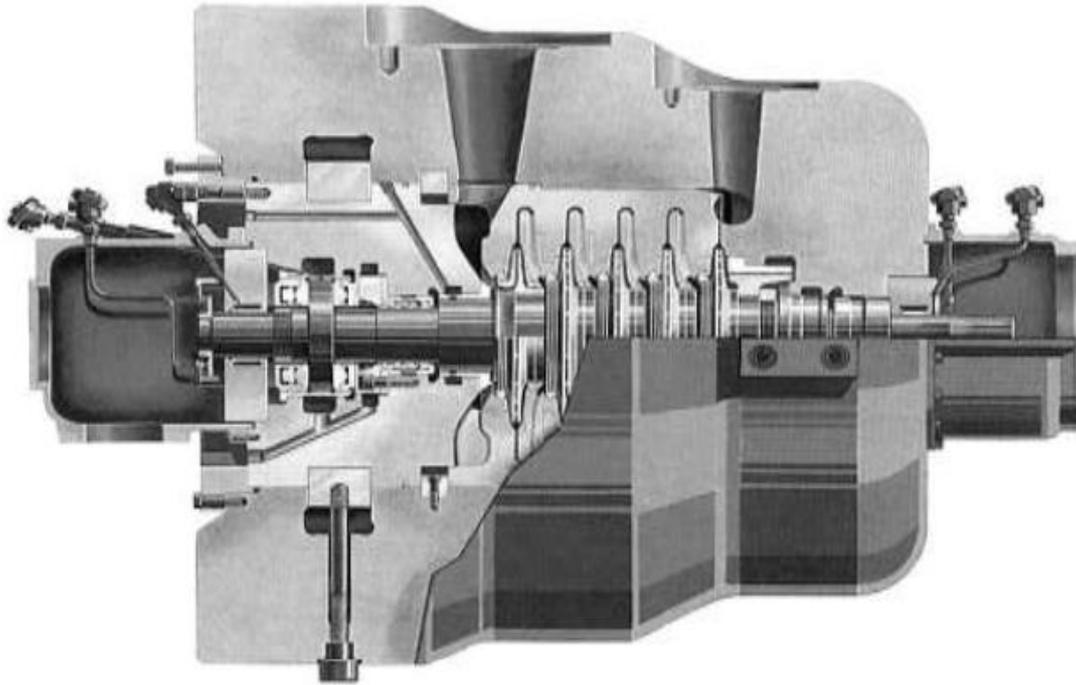


Figure 17 Compresseur avec corps en forme de cloche

IX.4.4 Compresseur de canalisation :

Les corps de ces compresseurs (Figure 18) sont en forme de cloche avec un seul flasque de fermeture sur un plan vertical, et généralement ils sont utilisés pour Transporter le gaz naturel. [2]

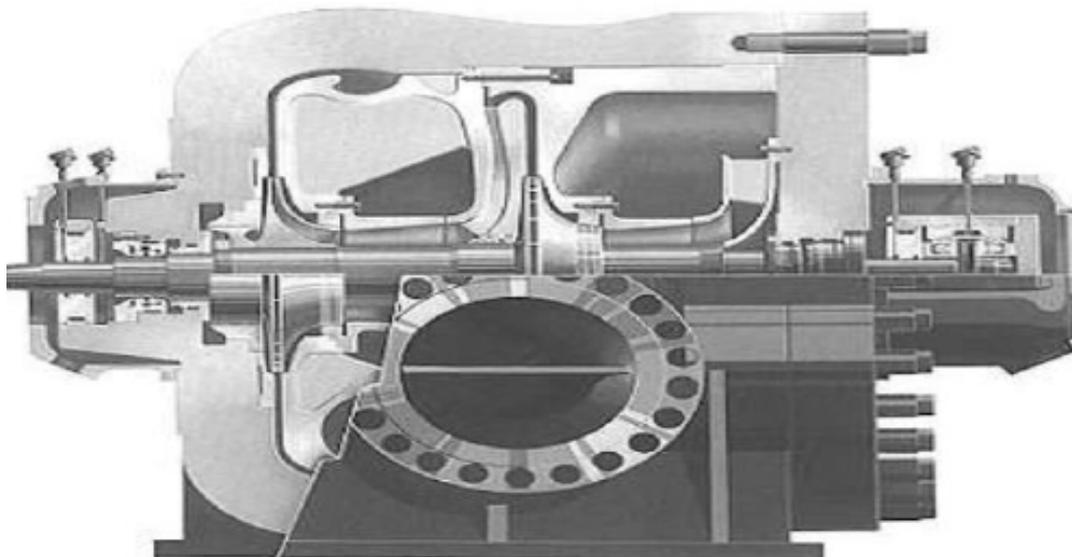


Figure 18 Compresseur de canalisation

IX.4.5 Compresseur SR :

Il s'agit des compresseurs (Figure. 19) appropriés pour des services à des pressions Relativement basses.

Leurs particularités sont le fait d'avoir plusieurs arbres et des roues relatives montées en porte-à-faux. Ces compresseurs sont généralement utilisés pour comprimer de l'air, de la vapeur et pour des applications géothermiques. [2]

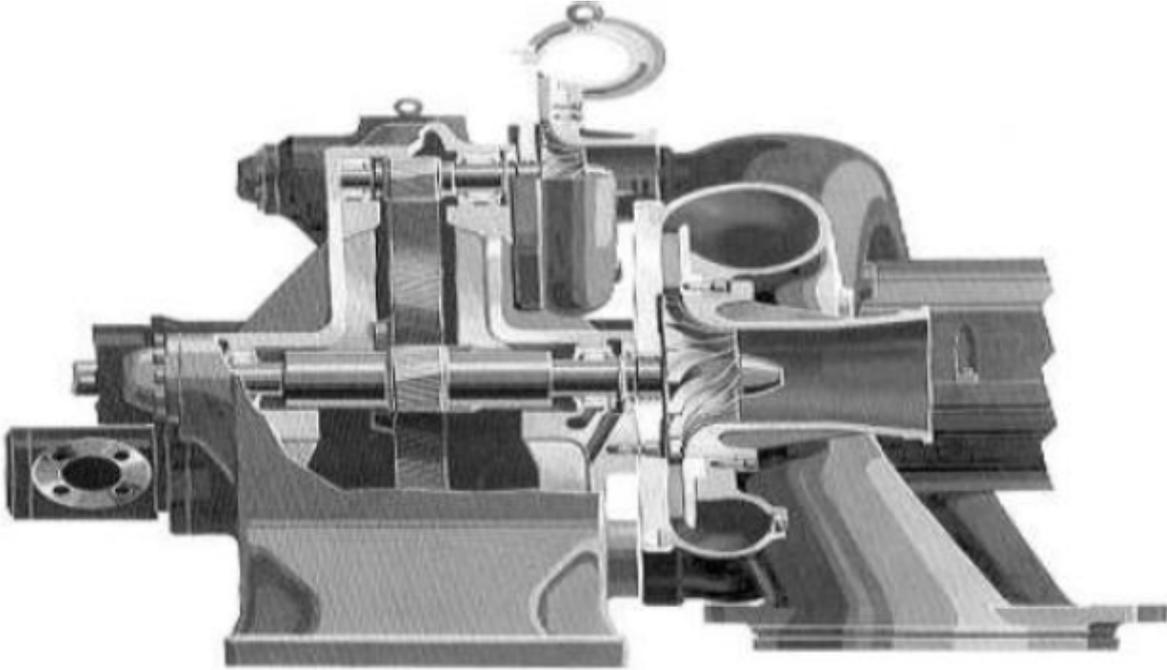


Figure 19 Compresseur SR

IX.5 Explication du numéro du modèle :

Les modèles de compresseur centrifuges de Mitsubishi sont généralement indiqués en code alphanumérique à quatre chiffres. Par exemple, 4V-8 montré ci-dessus indiquent la taille et la structure du modèle.

Le premier chiffre correspond à la taille du modèle définie à partir de critère physique (Par exemple diamètre de passage du corps).

Le deuxième chiffre du numéro du modèle correspondant au type de montage de compresseur (verticale, horizontale).

Le troisième chiffre correspond au nombre d'impulseur du compresseur. [3]

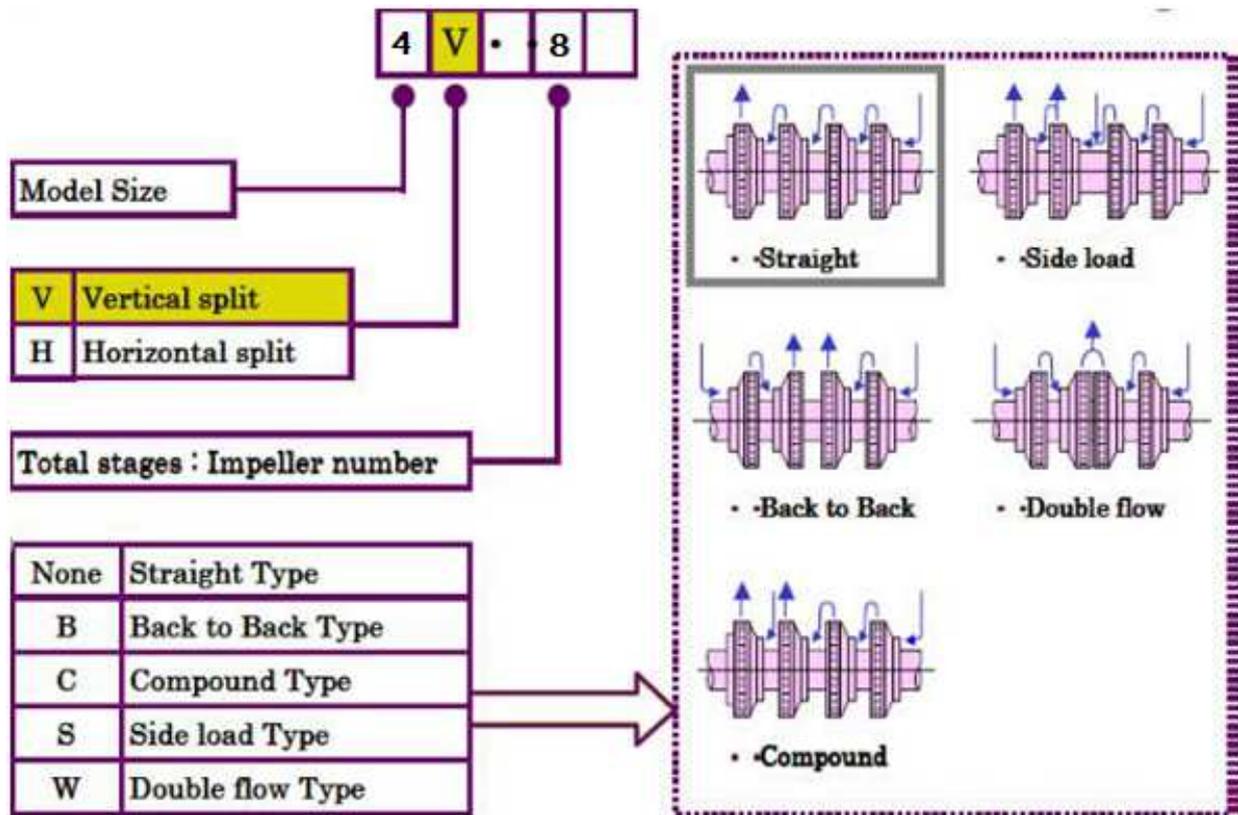


Figure 20 Codification de compresseur 4V-8

IX.6 Types de compresseurs utilisés à Edjeleh :

➤ Corps à plan de joint vertical :

- Compresseur centrifuge de type cylindrique, model 5V-5 ayant 5 Roues a joint verticale.
- Compresseur centrifuge de type cylindrique, model 4V-8 ayant 8 roues a joint verticale.

➤ Corps à plan de joint horizontale :

- Compresseur centrifuge de type cylindrique, basse pression model 9H-7B ayant 7 roues a joint verticale.

IX.7 Principe de Fonctionnement du Compresseur 4V-8 :

Le compresseur centrifuge est une machine dynamique à écoulement continu de fluide, ils constitués de plusieurs étages chaque étage contient toujours une roue d'aubages (ou de pales) tournante à grande vitesse (rotor ou impulseur), permettant d'augmenter la vitesse absolue du fluide, et une roue fixe (stator ou diffuseur), qui va transformer cette énergie cinétique en pression. Le rotor entraîné par la machine motrice (un moteur électrique), par l'intermédiaire d'un multiplicateur.

CHAPITRE 02 : Généralités sur les compresseurs centrifuges

Tourne sur les paliers porteurs et guidé dans sa position axiale le palier de butée. Des dispositifs d'étanchéité à labyrinthe et des étanchéités à film d'huile d'extrémité agissant sur le rotor.

L'arrivée du gaz s'effectue dans la volute d'entrée (aspiration) du compresseur d'où il s'écoule dans l'aube à ailettes directrice du 1^{er} étage qui le dirige axialement sous un angle convenable dans l'ouïe de l'impulseur 1^{er} étage.

Du fait de la force centrifuge le gaz est refoulé à grand vitesse à la périphérie de l'impulseur. Le gaz s'écoule ensuite dans l'espace annulaire entre la paroi d'aspiration et le diaphragme 1^{er} étage. Après un nombre d'étages consécutifs, le gaz s'écoule de la volute de refoulement du compresseur jusqu'à la tuyauterie client.

Par suite de la différence de surface entre les parois latérales de chaque impulseur, une poussée axiale sur l'ensemble du rotor est dirigée vers l'extrémité aspiration du compresseur. Afin de limiter cette poussée à une valeur raisonnable mais toujours positive et d'assurer une longue durée de service des paliers de butée, un piston d'équilibrage est disposé côté refoulement sur l'arbre du rotor.

La face côté impulseur dernier étage du rotor du disc d'équilibrage est soumise approximativement à la pression de refoulement du gaz, la différence de pression entre les 2 faces du piston d'équilibrage produit une poussée de direction opposée aux impulseurs (vers côté refoulement). [4]

Tableau 3 Paramètres du compresseur 4V-8

Puissance nominal	6055 KW
Vitesse nominal	11574 tr/min
Vitesse continue maximale	12153 tr/min
Arrivée de capacité nominale	23495 m ³
Pression d'aspiration	7 Bar
Pression de refoulement	68.013 Bar
Température opérationnelle (MAX/MIN)	180/0 °C

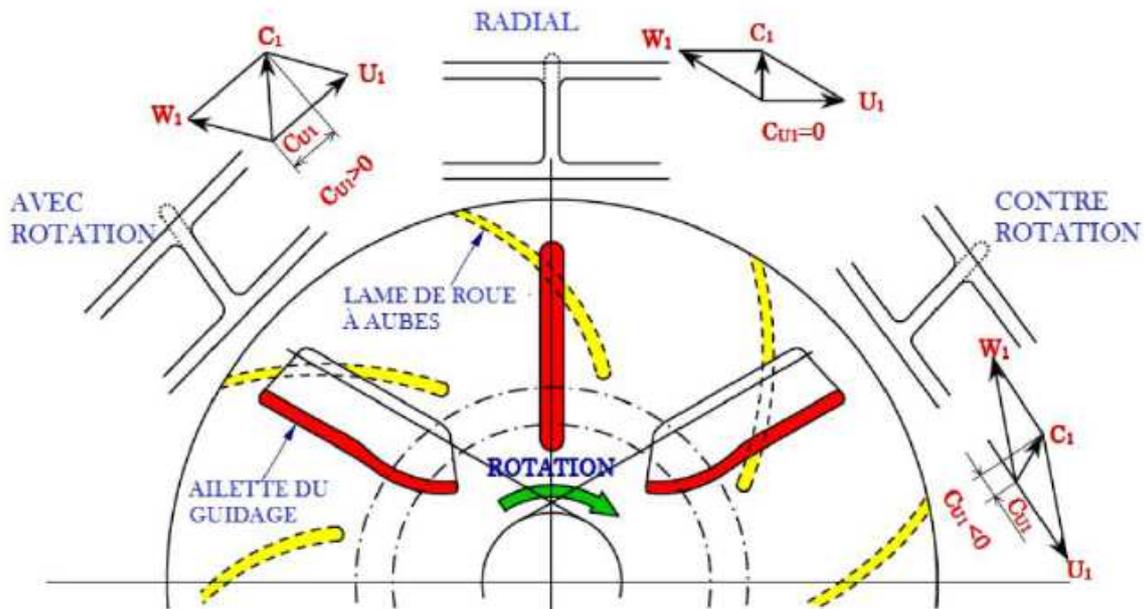


Figure 21 Schéma d'une roue mobile - triangle des vitesses

IX.7.1 Courbe de performance d'un compresseur centrifuge :

Les courbes de performances sont fréquemment appelées également courbes (pression /volume) ou (hauteur / débit). Quelle qu'en soit leur dénomination, leur but est le même, à savoir représenter graphiquement comment la pression et la puissance varient avec le débit.

IX.7.2 Limites d'utilisation importantes :

De plus, les courbes caractéristiques de pression / volume représentent également les limites d'utilisation importantes.

La plus importante est le point de pompage ou limite de débit minimum en dessous duquel le compresseur devient instable. Il entraîne des pulsations pouvant être dangereuses pour la tenue mécanique du compresseur et qui provoque :

- Des efforts de torsion alternés sur le rotor.
- D'inversion des poussées axiales du rotor.
- Des vibrations de très basse fréquence de l'ensemble du compresseur.

C'est pourquoi on utilise Des dispositifs de protection contre le pompage sont installés pour que le compresseur n'atteigne pas la ligne de pompage, même lors des fonctionnements transitoires.

Une marge est donc nécessaire entre la ligne d'apparition du pompage et la limite pratique de pompage, cette dernière définissant le point de consigne de la protection. [5]

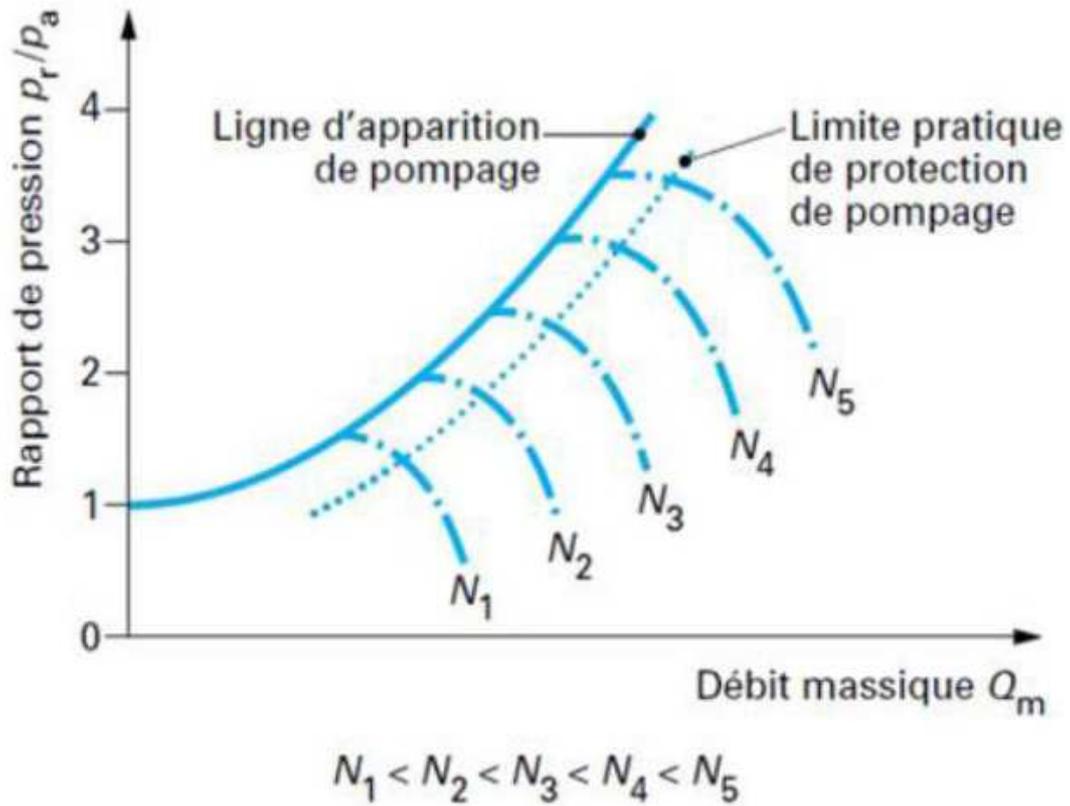


Figure 22 limite de pompage

IX.8 Éléments constitutifs du compresseur :

IX.8.1 Le corps de compresseur :

Est composé d'un cylindre en acier forgé et contient l'ensemble diaphragme et ensemble rotor. [4]



Figure 23 Le corps de compresseur du 4V-8

IX.8.2 Ensemble rotor du compresseur :

Le rotor du compresseur est composé de l'arbre sur lequel est monté, les 8 roues à Aubes, les douilles intermédiaires, le collet de buté, et le moyeu d'accouplement. [4]



Figure 24 Ensemble rotor du 4V-8

- **L'arbre :**

Il est constitué à diamètre variable où sont montées les roues et les douilles intermédiaires. Il est en acier à des propriétés mécaniques meilleures 40NCD7. [4]

- **Les roues :**

Les roues sont montées freinées sur l'arbre avec serrage pour éviter leur desserrage aux hautes vitesses de vibration due aux forces centrifuges. Elles sont constituées d'un disque, les aubes et un contre disque. Leur construction est en acier allié (la norme AFNOR : 35NCD6) ayant des propriétés mécaniques élevées mais à faible pourcentage de carbone pour obtenir une bonne soudure. [4]

IX.8.3 Les paliers :

IX.8.3.1 Paliers porteurs :

Le rotor est porté par deux paliers lisses à patins oscillants et à lubrification forcée. L'huile sous pression arrive aux paliers radialement et passe à travers des orifices pour lubrifier les patins et les taquets, l'huile sort ensuite latéralement.

Les patins porteurs sont réalisés en acier revêtu de métal blanc. Ils sont solidaires des taquets en acier et sont en place dans leur logement formé par le carter et par deux bagues d'étanchéité d'huile. Chaque palier est bridé au support de palier par un chapeau de palier.

Le palier de butée est du type à secteur flottant. La butée se compose de deux paliers (Actif et inactif) chacun avec six patins oscillants, séparés par un collet en acier ; La butée est capable

CHAPITRE 02 : Généralités sur les compresseurs centrifuges

de supporter des charges dans les deux directions et les patins sont conçus de façon à distribuer la poussée axiale du rotor également à chaque patin. [4]

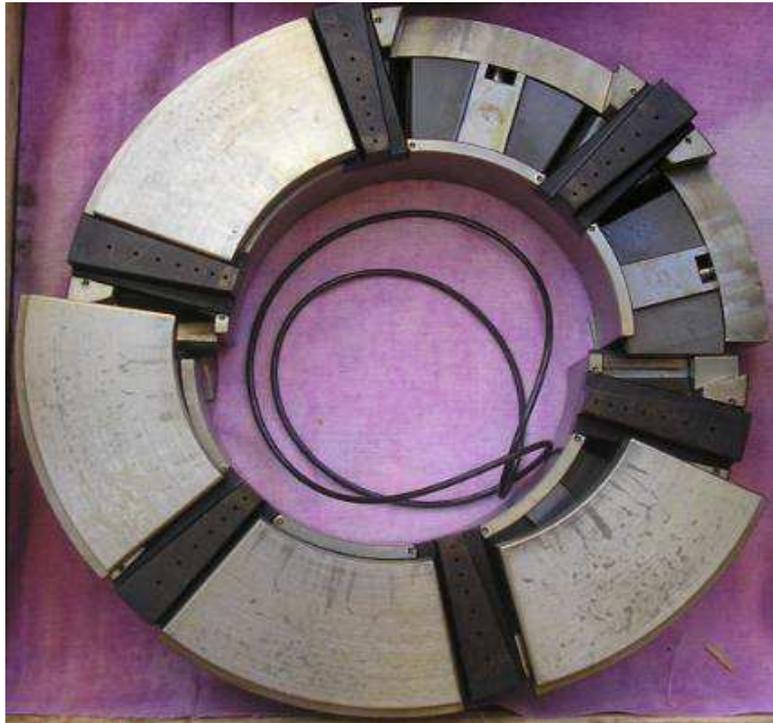


Figure 25 palier de buté

IX.8.4 Diaphragme :

L'ensemble des diaphragmes, montés autour du rotor, constitue les composants statorique des étages de compression. Les surfaces adjacentes des diaphragmes forment les enceintes de diffusion dans lesquelles l'énergie cinétique des gaz à la sortie des roues ou impulseurs est convertie en pression.

Les passages annulaires forment également les canaux de retour qui acheminent efficacement le gaz dans l'ouïe d'entrée des roues ou impulseurs.

Les diaphragmes sont divisés selon un plan médian horizontal et sont montés à l'intérieur d'un contre corps lui-même divisé selon un plan médian horizontal. La position des demi-diaphragmes supérieurs dans la moitié supérieure du contre corps est effectuée au moyen de vis de blocage, ce qui permet de soulever le contre corps sans faire tomber les diaphragmes.

Les étanchéités à labyrinthe sont installées sur les diaphragmes, à proximité de l'ouïe des roues des séparateurs dans le but de minimiser les fuites de gaz entre les aires de refoulement et d'aspiration des roues.

Des joints d'étanchéité "O" ring sont installés dans des logements adéquats aménagés sur le pourtour du contre corps, à l'endroit où celui-ci est au contact du corps. Ces joints d'étanchéités empêchent tout passage du gaz entre les sections à pression différente. [4]



Figure 26 diaphragme (4V8)

IX.8.5 Disque de butée :

Les butées sont à double effet à patins oscillants, largement dimensionnées pour supporter les charges normales (poussées aérodynamiques, réaction d'accouplements) elles chargent accidentelles (pompage du compresseur).

Le disque de butée est trempé et rectifié sur ces deux faces il est monté sur l'arbre pour maintenir le rotor dans sa position axiale correct. [4]

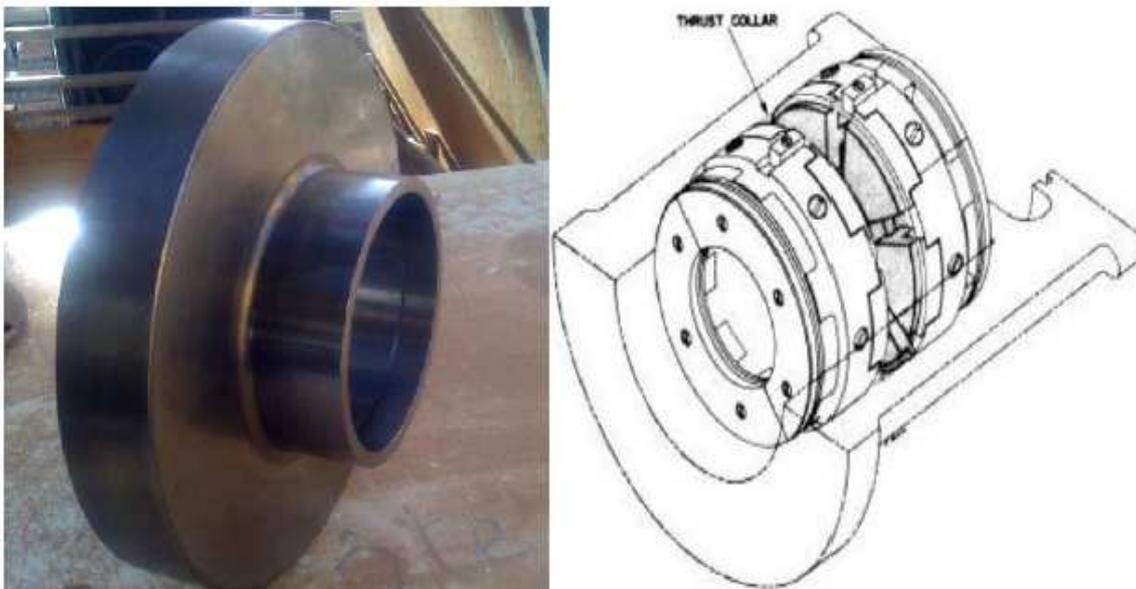


Figure 27 disque à butée et son emplacement

IX.8.6 Tambour d'équilibrage:

Le rotor du compresseur centrifuge est soumis à une poussée axiale dirigée du côté de l'aspiration, imputable aux différentes pressions agissant sur les surfaces externes du couvercle et du moyen de chaque roue.

La poussée est en grande partie équilibrée par le tambour d'équilibrage qui est un disque gabarié monté sur l'extrémité de l'arbre adjacent à la roue du dernier étage.

Le tambour d'équilibrage forme avec l'étanchéité à labyrinthe d'arbre la chambre d'équilibrage, soumettant la chambre d'équilibrage à une pression plus basse (approximativement égale à la pression d'aspiration). On crée une pression différentielle en sens opposé à celle des roues, ceci est obtenu en reliant cette chambre à l'aspiration du compresseur au moyen d'une tuyauterie d'équilibrage.

Le tambour a été conçu de façon à réduire considérablement la poussée axiale sans pour autant l'équilibrer entièrement. La poussée résiduelle est absorbée par le palier de butée assurant ainsi l'immobilité du rotor en direction axiale. Le tambour d'équilibrage est monté à chaud sur l'arbre. [4]

IX.8.7 Dispositif d'étanchéité :

IX.8.7.1 Étanchéités à labyrinthe (internes) :

Les étanchéités internes installées sur le diaphragme du Compresseur et servant à réduire les pertes de gaz pouvant se produire entre des zones à pression différentes, sont du type labyrinthe.

Une étanchéité à labyrinthe se compose d'une bague dont la périphérie porte une série de lames ayant un jeu réduit avec le rotor.

Les bagues sont en alliage léger résistant à la corrosion et de dureté inférieure à celle du rotor afin d'éviter d'endommager le rotor en cas de contact accidentel. Ces bagues sont fabriquées en deux moitiés.

La moitié supérieure de chaque bague est vissée au diaphragme correspondant. Les demis-bagues inférieures peuvent être facilement enlevées en les faisant tourner dans leur logement sur les diaphragmes.

Les étanchéités sont montées en correspondance avec les composants suivants de l'arbre : les disques des roues, les manchons de l'arbre situés entre les roues et le tambour d'équilibrage.

Le même type d'étanchéité est installé en bout d'arbre pour réduire les pertes de gaz de la partie interne du compresseur. [4]



Figure 28 Labyrinthe de diaphragme

IX.8.7.2 Étanchéités à huile (étanchéités en bout d'arbre) :

L'étanchéité à film d'huile est employée pour le scellement d'arbre externe aux deux bouts d'arbre, le métal blanc est déposé sur l'anneau d'étanchéités d'huile sur le côté alésage. L'étanchéité a une pression d'huile consignée à une valeur plus élevée de 0.35 kgf/cm² environ que la pression de gaz adjacente, dans l'anneau d'étanchéité sur le côté gaz, une pression différentielle de 0.35 kgf/cm² force d'huile d'étanchéité à s'écouler vers le côté gaz, empêchant ainsi l'écoulement vers l'extérieure.

L'huile ainsi écoulee est récupérée dans un collecteur d'étanchéité, pour minimiser l'écoulement, il est nécessaire de réduire un espace libre de l'anneau d'étanchéité, pour empêcher une expansion de l'espace due à la chaleur générée par l'huile agitée, l'anneau d'étanchéité est construit de façon à réaliser un haut niveau d'efficacité de radiation. Au moyen de film d'huile, l'anneau d'étanchéité est capable de suivre la vibration d'arbre et protégée ainsi contre le brulage dû au contact pouvant se produire, l'écoulement d'huile de l'anneau d'étanchéité sur le côté air libre, est mélangé avec le lubrifiant et retourne au réservoir d'huile pour le recyclage.

L'anneau d'étanchéité sur le côté air libre à un espace un peu plus large que ceux dans l'anneau d'étanchéité sur le côté gaz.

L'anneau amortisseur est employé entre les anneaux d'étanchéité sur le côté gaz et le côté air libre pour atténuer les vibrations d'arbre se produisant durant l'opération à l'aide des pièces circonférentielles intérieures à arcs multiples, l'anneau amortisseur est capable de suivre l'arbre parfaitement. D'autre part, une fosse à huile étant localisée sur la circonférence extérieure, son effet de compression de film est conçu de façon à atténuer la vibration.

CHAPITRE 02 : Généralités sur les compresseurs centrifuges

Du fait que le rotor est supporté par les paliers lisses, la charge de rotor n'agit pas sur le joint torique dans la fosse d'huile sur la circonférence, les anneaux d'étanchéité sont capables de suivre normalement le mouvement du rotor, renforçant ainsi l'effet d'atténuation. [4]

IX.9 Conclusion :

Les compresseurs à gaz jouent un rôle important en entreprise destiné à augmenter la pression du gaz, il aspire le gaz nécessaire et le comprime à la pression désirée. Son rôle est de fournir du gaz à haute pression. Ces machines connaissent un développement remarquable justifié par leur fiabilité et simplicité d'exploitation.

Bien que de nombreux avantages de ces équipements, leur haute sensibilité à l'influence de variation des paramètres de fonctionnement de l'usine et des paramètres de l'environnement fait que le rendement de ces machines se trouve affecté, et peuvent provoquer des pannes inattendues, voir même augmenter la séquence et la diversité des pannes.

CHAPITRE 03 :

Généralités sur la maintenance

X Introduction :

Tous les équipements d'une installation industrielle sont soumis à des mécanismes de dégradation dus aux conditions de fonctionnement et/ou d'environnement : usure, fatigue, vieillissement, altérations physico-chimiques diverses. Face aux défaillances qui en résultent, on peut se contenter de pratiquer un diagnostic, mais on n'évite pas ainsi les conséquences des pannes que l'on subit. Une attitude plus défensive consiste à mettre en œuvre une maintenance préventive destinée à limiter, voire à empêcher, ces défaillances, mais on court alors le risque de dépenses excessives et d'indisponibilités inutiles.

Devant cette situation, le responsable de maintenance ne doit plus se contenter de surveiller et de réparer, il doit envisager des stratégies. Une part de son travail consiste à prévoir les événements à diagnostiquer et évaluer les différentes alternatives qui s'offrent à lui pour trouver la solution optimale, ou tout au moins pour s'en rapprocher. Les forces dont il dispose, limitées par ses moyens techniques et financiers, doivent être placées aux bons endroits.

XI Définition :

Le diagnostic : c'est l'identification de la cause probable de la (ou les) défaillance(s) à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur un ensemble d'informations provenant d'une inspection, d'un contrôle ou d'un test. Le diagnostic permet de confirmer, de compléter ou de modifier les hypothèses faites sur l'origine et la cause des défaillances et de préciser les opérations de maintenance corrective. [6]

XI.1 Les objectifs du diagnostic :

La maintenance par ses aspects préventifs et correctifs, ambitionne d'atteindre ses objectifs, on peut citer les suivants :

- Optimiser la fiabilité du matériel et prolonger sa durée de vie, et ce, au plus bas cout possible.
- Assurer perpétuellement le bon état de marche des installations et la continuité de service des équipements techniques.
- Ramener rapidement à son état de marche l'équipement en panne ou l'infrastructure défaillante.
- Améliorer la maintenance (fonction en boucle) et cela en apportant un entretien continu et des interventions rapides et efficaces.
- Améliorer la qualité et la quantité de la production tout en respectant les délais.
- Consolider la compétitive de l'entreprise.
- Améliorer la sécurité du personnel et du matériel. [6]

XI.2 Localisation des défaillances :

C'est l'action qui conduit à rechercher précisément le (les) élément(s) par le(s) quel(s) la défaillance se manifeste.

- **Le test :** C'est une opération qui permet de comparer les réponses d'un système à une sollicitation appropriée et définie, avec celles d'un système de référence, ou avec un phénomène physique significatif d'une marche correcte.
- **La détection :** C'est l'action de déceler au moyen d'une surveillance accrue, continue ou non, l'apparition d'une défaillance ou l'existence d'un élément.
- **Le dépistage :** C'est une action qui vise à découvrir les défaillances dès leur début par un examen systématique sur des équipements apprenant en état de fonctionnement. [6]

XI.3 Différentes formes de la maintenance :

XI.3.1 La maintenance préventive:

Maintenance effectuée dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation de service rendu, et pour but :

- Augmenter la durée de vie des matériels.
- Diminuer la probabilité des défaillances en service.
- Diminuer le temps d'arrêt en cas de révision ou de panne.
- Prévenir et aussi prévoir les interventions de la maintenance corrective coûteuse.
- Permettre de décider la maintenance corrective dans de bonnes conditions.
- Éviter les consommations anormales d'énergie, de lubrifiant, etc.
- Diminuer le budget de la maintenance.
- Supprimer les causes d'accidents graves.

On distingue deux types de maintenance préventive :

➤ **Maintenance préventive systématiques:**

Maintenance préventive effectuée selon un échéancier établie suivant le temps où nombre d'unités d'usage accumulées (pièces produites...) puis à remplacer systématiquement un certain nombre de pièces préalablement définies.

➤ **Maintenance préventive conditionnelle :**

Elle est réalisée à la suite d'une analyse révélatrice de l'état de dégradation de l'équipement qui se fonde sur l'étude de données issues de capteurs, afin de déterminer les points critiques et par conséquent, prédire les défaillances. Ces données sont prélevées à partir de l'analyse des divers critères relatifs à l'équipement concerné (analyse de vibration, de lubrifiants, mesure thermique,...). [4]

XI.3.2 La maintenance corrective :

La maintenance corrective s'effectue après une défaillance et la caractéristique aléatoire de cette dernière fait qu'il n'est pas possible de planifier les interventions. La qualité du remède est directement liée à la qualité du diagnostique. Puis en distingue deux types :

➤ **Maintenance palliative :**

C'est l'ensemble des activités de maintenance qui comportent des réparations ou des remises en état à caractère provisoire, encore appelées couramment « dépannage ». Ce type de maintenance vise à remettre un équipement défaillant dans un état de fonctionnement temporaire ou il pourrait assurer tout ou partie d'une fonction requise en attendant une intervention curative vis-à-vis de celui-ci.

➤ **Maintenance curative :**

Ce type de maintenance regroupe les différentes activités de maintenance corrective ayant pour objet de rétablir un bien dans un état spécifié ou de lui permettre d'accomplir une fonction requise. Cette maintenance est effectuée après dégradation ou défaillance de ce bien et son action est à effet permanent.

Par conséquent, on peut suggérer le schéma suivant pour englober l'ensemble des types de maintenance : [4]

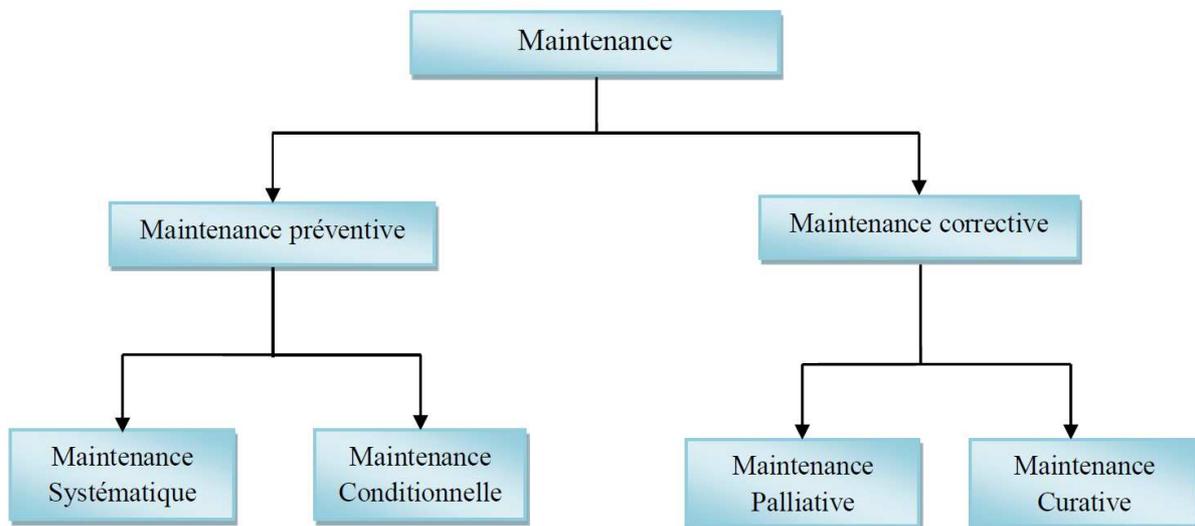


Figure 29: schéma structurelle de la maintenance.

XI.4 Les moyens de la maintenance :

XI.4.1 Moyens humains :

En maintenance, on est souvent amenés vers les tâches d'une très grande complexité et d'une précision pointue. Pour cela, il est nécessaire, voir même primordial d'avoir à notre disposition une main d'œuvre qualifiée qui peut se révéler à la hauteur de ces fonctions. Pour ce faire, il faut savoir se doter d'une politique adéquate en matière de besoins humains en faisant appel à des organigrammes, des hiérarchies et en déterminant les niveaux des effectifs. [7]

XI.4.2 Moyens matériels :

On rencontre trois types de moyens :

- L'outillage consommable : qui fait l'objet d'un budget annuel et concerne les divers outils à usage limité dans le temps (cartouches d'encre, disque d'aiguisage,...).
- Les faibles outils : concernent l'outillage employé dans la maintenance des autres appareillages de plus grand calibre. Leur usage est à long terme et sont renouvelés selon un échéancier, sauf dans un cas particulier (usure ou autre défaillance). On peut citer, entre autre, les pinces, les multimètres, les tournevis,...
- Les équipements spécifiques : C'est une gamme d'équipements dont le coût est trop grand pour être renouvelé régulièrement. Ce matériel est dit de précision. [7]

XI.4.3 Documentation :

Il paraît illusoire d'organiser sans une documentation constituant la base de tout système de communication. Là encore, une infinité de solutions sont offertes.

L'homme de maintenance doit parfaitement connaître ses équipements et en nature, et en temps. Il est alors, indispensable de créer un système documentaire. Ce système doit répondre à deux préoccupations :

- L'interrogation suivant le profil de l'information recherchée.
- L'archivage du passé.

La gestion d'un tel système doit bénéficier d'une attention particulière. Signalons qu'il arrive qu'une documentation avoisine les 10% de l'investissement se trouve égarée et éparpillée et donc, inaccessible au moment voulu. [7]

XI.4.4 Types de documents :

La documentation technique étant à la base de tout acte de maintenance, aussi bien préventif que correctif, fait souvent défaut. De ce fait, on doit impérativement exiger des fournisseurs tous les documents disponibles relatifs à l'objet de notre commande. Ceux-ci comprennent plusieurs types de fiches et de dessins :

➤ **La fiche d'entretien :**

Afin de préserver les équipements et pour mieux produire, il faut élaborer un organigramme détaillé de toutes les opérations de maintenances nécessaires pour chaque équipement pour une politique donnée, quitte à le modifier au fil de temps selon l'expérience. Cette fiche servira de guide, basé impérative pour épargner dans le sens de préserver les équipements. L'entretien fondamental de premier ou deuxième niveau occasionne certes des charges mais évite la fréquence des pannes fortuites et donc se traduit par un accroissement du taux de fiabilité, d'exploitation et de sécurité.

La fiche d'entretien individuelle doit donc consigner :

- L'inventaire des actions et opérations planifiées à entreprendre pour chaque ensemble (vidange, graissage, calibrage, réparation, changement d'organe et autres).
- Les informations et spécifications utiles (nature, quantités, données,...) pour chaque type d'intervention par un code d'entretien.
- Éventuellement la périodicité ou échancier entre deux opérations identiques d'entretien (quotidien, hebdomadaire, mensuel ou en nombre d'heures de fonctionnement).

➤ **Historique des équipements :**

La fiche historique ou fiche de suivi des travaux d'entretien doit refléter la vie de l'équipement en intégrant toutes les anomalies, pannes et interventions qu'a subit cet équipement.

Cette fiche doit donc indiquer principalement :

- L'identification et les caractéristiques principales de l'équipement par le code équipement.
- Les références de la demande des travaux, de l'ordre de travail et du rapport d'intervention.
- La désignation des travaux effectués.
- La date de début des travaux.
- La date de fin des travaux et éventuellement les cumuls horaires.
- Les remarques, causes et remèdes.

CHAPITRE 03 : Généralités sur la maintenance

- Les coûts des opérations (main d'œuvre, transport, manutention, spécifiques, pièces de rechange, ingrédients, manque à gagner).
- Toutes les observations utiles et spécifiques à la gestion qualitative de cet équipement en vue de tenir compte lors des prochaines interventions. [7]

XI.5 Les temps de la maintenance :

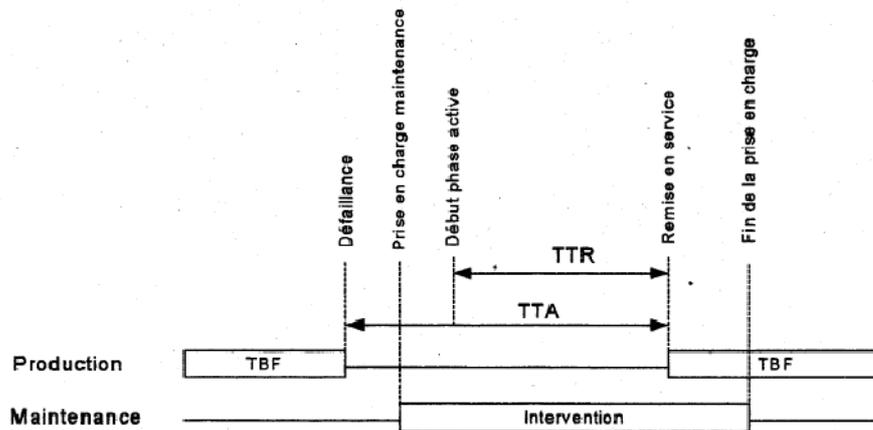


Figure 30 Temps caractéristiques lors d'une intervention

XI.5.1 La MTBF :

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

Un temps de bon fonctionnement est le temps compris entre deux défaillances. [8]

XI.5.2 La MTTR :

La MTTR est la moyenne des temps techniques de réparation (TTR).

Le TTR est le temps durant lequel on intervient physiquement sur le système défaillant. Il débute lors de la prise en charge de ce système jusqu'après les contrôles et essais avant la remise en service. [8]

XI.5.3 La MTTA :

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

Les temps techniques d'arrêt sont une partie des temps d'arrêt que peut connaître un système de production en exploitation. Ils ont pour cause une raison technique et, ce faisant, sont à distinguer des arrêts inhérents à la production (attente de pièce, de matière, d'énergie, changement de production, etc.). [8]

XI.6 Niveaux et échelons de maintenance :

XI.6.1 Les niveaux de maintenance : (norme FD X 60-000)

La maintenance et l'exploitation d'un bien s'exercent à travers de nombreuses opérations, parfois répétitives, parfois occasionnelles, communément définies jusqu'alors en cinq niveaux de maintenance. [9]

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

Tableau 4 Les cinq niveaux de maintenance

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

XI.6.2 Les échelons de maintenance : (norme FD X 60-000)

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

- **La maintenance sur site :**

L'intervention est directement réalisée sur le matériel en place.

- **La maintenance en atelier :**

Le matériel à réparer est transporté dans un endroit, sur site, approprié à l'intervention.

- **La maintenance chez le constructeur ou une société spécialisée :**

Le matériel est alors transporté pour que soient effectuées les opérations nécessitant des moyens spécifiques.

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

Les opérations de niveaux 1 à 3, par exemple, s'effectuant sur site, celles de niveau 4 en atelier, et celles de niveau 5 chez un spécialiste hors site (constructeur ou société spécialisée).

Si cela se vérifie fréquemment (dans le domaine militaire par exemple), il convient cependant de ne pas en faire une généralité. On peut rencontrer en milieu industriel des tâches de niveau 5 effectuées directement sur site. [15]

XI.7 Paramètre d'usure :

XI.7.1 Définition :

Est une variable de fonctionnement du matériel qui pour l'entretien, indiqué, au-delà de l'âge, l'ensemble des usures et dégradations que ce matériel subit en assurant sa fonction production dans les conditions réelles de son utilisation.

Cette variable devient un paramètre pour l'entretien qui le sélectionne suivant les critères suivants :

- Objectivité des mesures.
- Caractères significatif à l'égard des dégradations.
- Facilité et permanence de la saisie. [9]

XI.8 Étude de la fiabilité :

XI.8.1 Introduction :

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

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

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

XI.8.2 Définition :

La fiabilité caractérise l'aptitude d'un système ou d'un matériel à accomplir une fonction requise dans des conditions données pendant un intervalle de temps donné ". [10]

XI.8.3 Intérêt de l'étude de la fiabilité :

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

La connaissance de la durée de vie d'un système ou d'un composant permet de déterminer par exemple les périodicités dans le cas d'une maintenance préventive systématique. [8]

XI.8.4 Objectifs et intérêts de la fiabilité en mécanique :

La fiabilité dans le domaine de la mécanique est un outil très important pour caractériser le comportement du produit dans les différentes phases de vie, mesurer l'impact des modifications de conception sur l'intégrité du produit, qualifier un nouveau produit et améliorer ses performances tout au long de sa mission. [10]

XI.8.5 Lois de fiabilité :

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

On distingue : [10]

➤ **Les lois discrètes :**

- La loi binomiale.
- La loi de poisson.

➤ **Les lois continues :**

- La loi log normale.
- La loi exponentielle.
- La loi Weibull.

XI.9 Outils d'analyse des défaillances :

Tableau 5 Outils d'analyse des défaillances

Outil	Intérêt
Graphe de Pareto ou méthode ABC	Mise en évidence des actions prioritaires
Modèle de WEI BULL	Étude de paramétrique du modèle de WEIBULL
Diagramme causes-effet, Ishikawa où arrête de poisson	Recherche des causes d'une défaillance
Analyse fonctionnelle	Représenter les fonctions de tâche dans le compresseur
AMDEC	Analyse prévisionnelle des défaillances

XI.9.1 LE MODELE DE WEIBULL :

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

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

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

Elle permet d'ailleurs, à partir des résultats obtenus de déterminer dans quelle période de sa vie se trouve le système étudié. [8]

XI.9.1.1 Méthodes d'approximation des valeurs de la fonction de répartition:

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

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

Elles doivent être classées par ordre croissant de durée (en heures, jours, etc.), suivant l'unité la plus adaptée. [11]

L'estimation de la fonction de densité pour une durée t_i est donnée par : $F(t_i) = \frac{i}{n+1}$ (III.1)

Or, ce n'est pas la fonction de densité qui nous intéresse mais la fonction de répartition $F(t_i)$.

Cette fonction de répartition peut être estimée selon plusieurs méthodes dont 2 sont particulièrement applicables pour les lois de fiabilité (exponentielle et Weibull) : ce sont les méthodes des **rangs médians** et des **rangs moyens**. Le choix entre l'une ou l'autre des méthodes est fonction de la taille « n » de l'échantillon.

➤ Si $n \leq 20$, on utilise la méthode des rangs médians et $F(t_i) = \frac{i-0.3}{n+0.4}$

➤ Si $n > 20$, on utilise la méthode des rangs moyens et $F(t_i) = \frac{i}{n+1}$

XI.9.1.2 La loi de Weibull :

Proposée par l'ingénieur et mathématicien suédois Ernst Hjalmar Waloddi Weibull (1887-1979), la loi de Weibull est une loi de probabilité à 3 paramètres qui est très utilisée pour modéliser la durée de vie des produits en raison de sa grande flexibilité. [10]

A. Densité de probabilité $f(t)$:

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

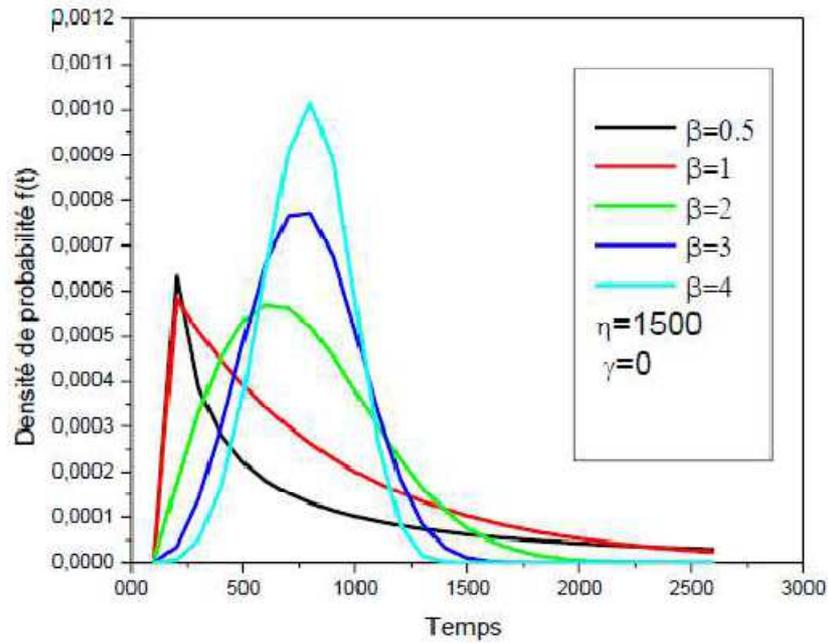


Figure 31 Courbe théorique (densité de probabilité $f(t)$)

B. Fonction de fiabilité $R(t)$:

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

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

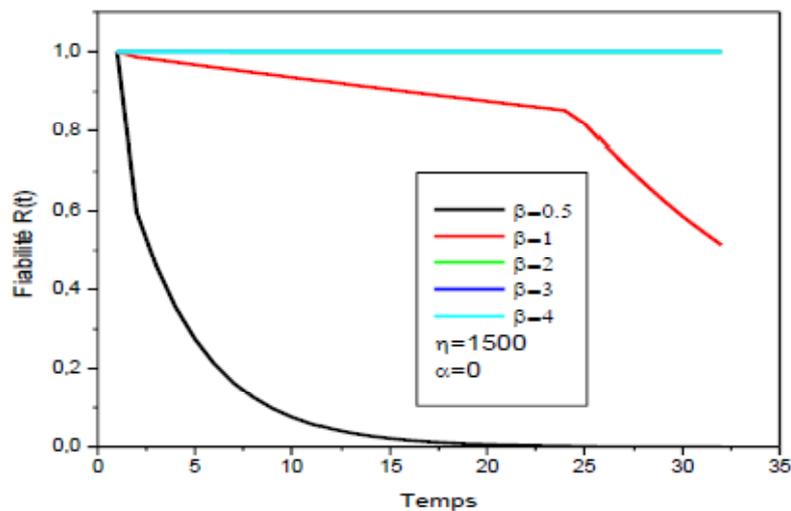


Figure 32 Courbe théorique (Fiabilité)

Avec les paramètres de signification : γ , β , η définissent la distribution de Weibull.

On utilise trois paramètres :

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

Signification des paramètres :

- Paramètre d'échelle éta (η): Ce paramètre permet d'utiliser le papier d'Allan Plait quelque soit l'ordre de grandeur de t. Il n'a donc pas à être interprété.
- Paramètre de forme bêta (β): Ce paramètre donne des indications sur le mode des défaillances et sur l'évolution du taux de défaillances dans le temps.

β : Paramètre de forme >0 sans dimension:

- Si $\beta > 1$, le taux de défaillance est croissant, caractéristique de la zone de vieillesse.

$$1,5 < \beta < 2,5 : \text{fatigue}$$

$$3 < \beta < 4 : \text{usure, corrosion}$$

- 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.

[11]

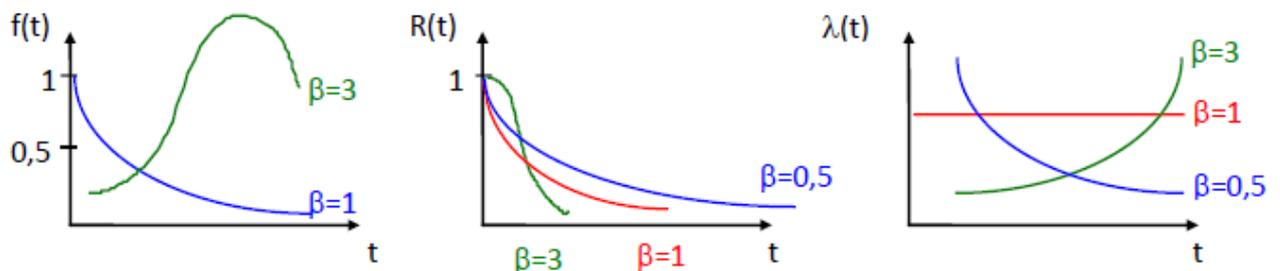


Figure 33 la densité, fiabilité et le taux de défaillance

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

loi de Weibull : $\lambda = \frac{1}{\eta} = \frac{1}{MTBF}$ (III.4)

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

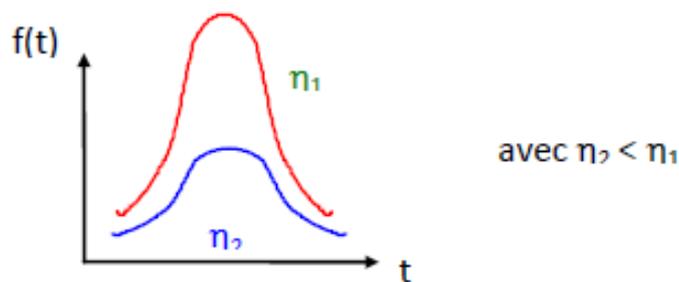


Figure 34 la densité

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

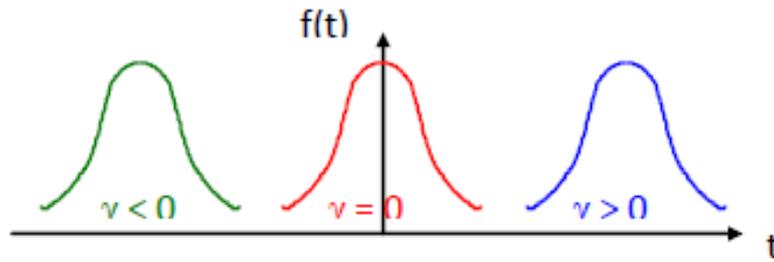


Figure 35 la densité

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

Sa courbe théorique de distribution est donnée à la figure.

C. Fonction de répartition F (t) :

La probabilité que le dispositif soit en panne à l'instant t. Elle est exprimée par : [10]

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

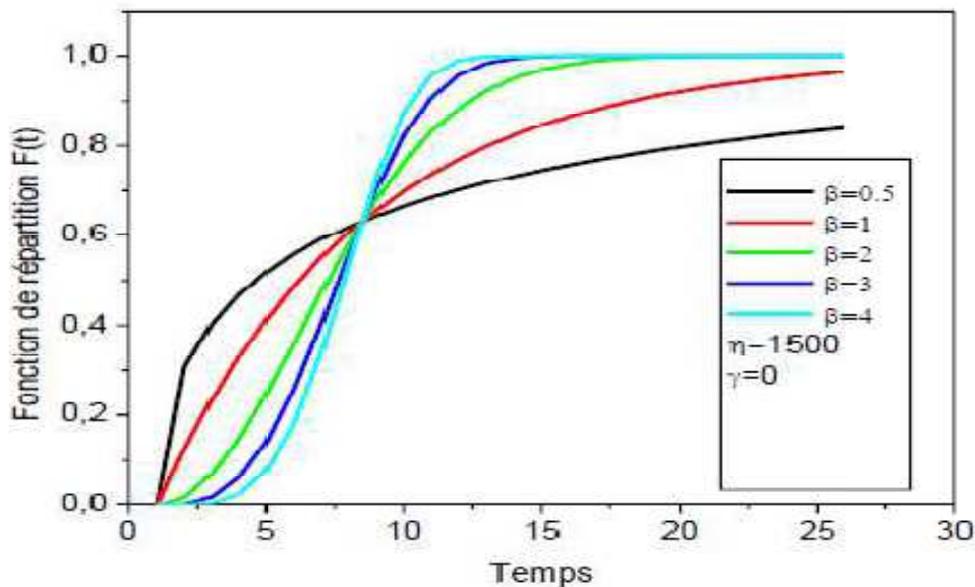


Figure 36 Courbe théorique (fonction de répartition)

D. Taux de défaillance :

Son taux instantané de défaillance $\lambda(t)$ est un estimateur de fiabilité. Il s'exprime par: [10]

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

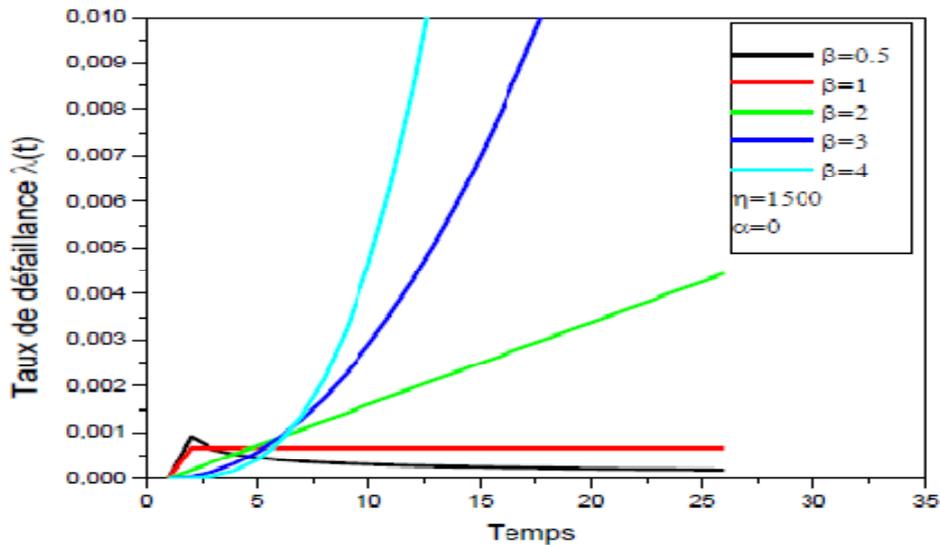


Figure 37 Courbe théorique (Taux de défaillance)

XI.9.1.3 Domaine d' application :

La distribution de Weibull est souvent utilisée dans le domaine de l'analyse de la durée de vie, grâce à sa **flexibilité** car elle permet de représenter au moins approximativement une infinité de lois de probabilité.

Un taux de panne croissant suggère une "usure ou un problème de fiabilité" : les éléments ont de plus en plus de chances de tomber en panne quand le temps passe. [10]

XI.9.1.4 Détermination graphique des paramètres de la loi de Weibull:

La courbe est tracée sur un papier spécial appelé papier de Weibull ou d'Allen Plait, ce qui permet de tracer une droite et de Simplifier les calculs. [8]

➤ Schématisation des axes :

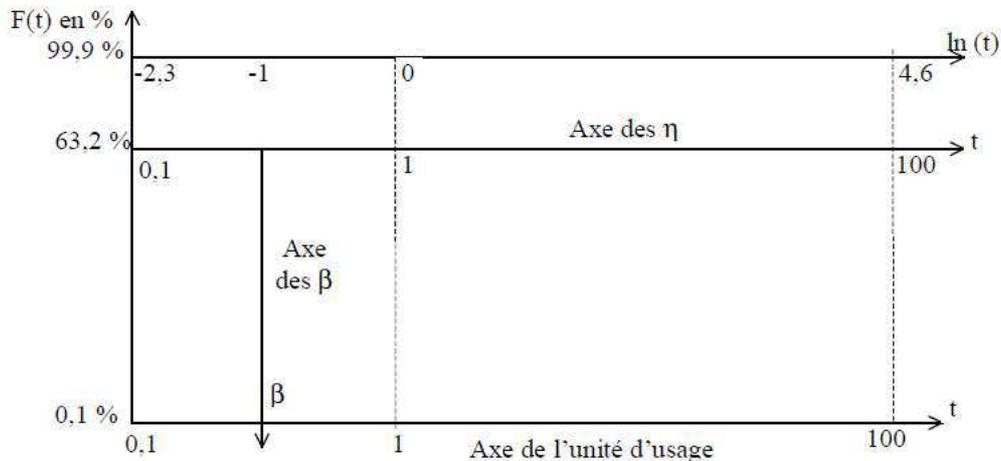


Figure 38 Schématisation des axes

➤ Aspect du papier de Weibull :

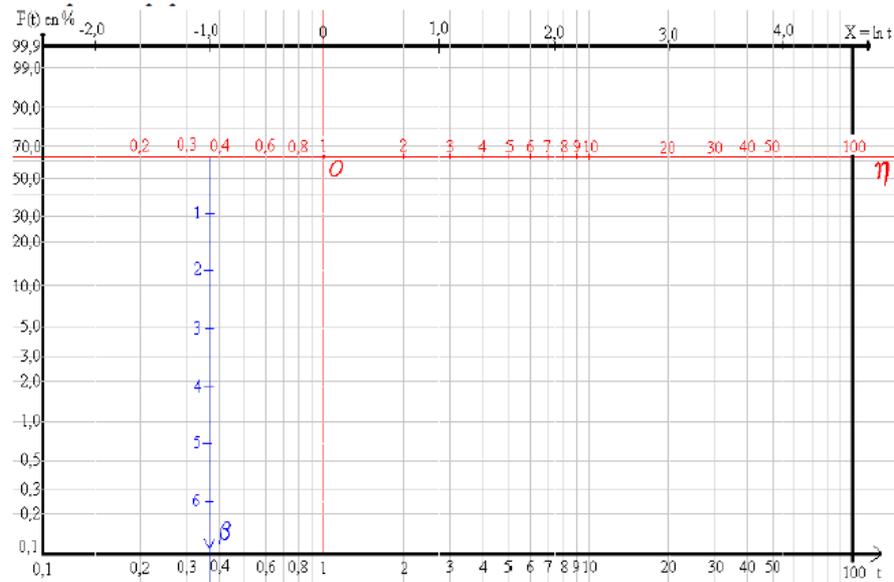


Figure 39 Papier de Weibull

XI.9.1.5 Méthodologie de Weibull :

- Consulter les historiques de pannes et dresser la liste des temps de bon fonctionnement entre deux défaillances. Classer ces temps par ordre croissant.
 - Cumuler le nombre de défaillances (rang). Au premier temps il y a 1 avarie, au deuxième temps, il y en a 2, etc.
 - Calculer les fréquences des avaries $F(i)$, en fonction de la taille N de l'échantillon Pour calculer gamma. Si le nuage de points correspond à une droite, alors $\gamma = 0$.
Si le nuage de points correspond à une courbe, on la redresse par une translation de tous les points en ajoutant ou en retranchant aux abscisses "t", une même valeur (gamma) afin d'obtenir une droite.
 - Reporter les points ainsi trouvés sur le papier de Weibull en plaçant les TBF en abscisse et les $F(i)$ en ordonnée.
 - Tracer la droite passant au mieux par les points obtenus.
- Si les points sont alignés sur une droite, on a $\gamma = 0$. [8]

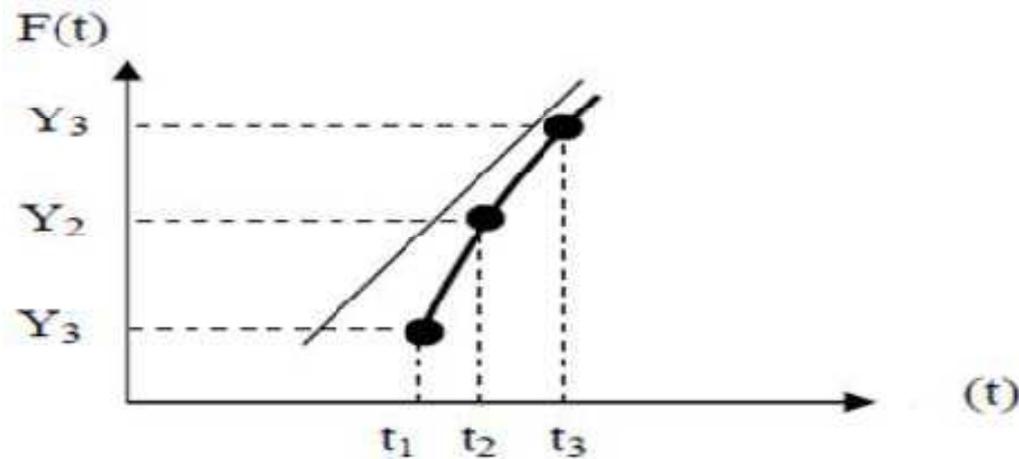


Figure 40 Méthodologie de Weibull

Si les points correspondent à une loi de Weibull, on peut écrire la condition de linéarité : [12]

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

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

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

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

XI.9.2 La Maintenabilité :

XI.9.2.1 Définition :

Dans des conditions données, la maintenabilité est l'aptitude d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état où il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits. [10]

Maintenabilité = être rapidement dépanné

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

A partir de ces définitions, on distingue :

- **La maintenabilité intrinsèque** : elle est « construite » dès la phase de conception à partir d'un cahier des charges prenant en compte les critères de maintenabilité (modularité, accessibilité, etc.).
- **La maintenabilité prévisionnelle** : elle est également « construite », mais à partir de l'objectif de disponibilité.

- **La maintenabilité opérationnelle** : elle sera mesurée à partir des historiques d'interventions.

L'analyse de maintenabilité permettra d'estimer la MTTR ainsi que les lois probabilistes de maintenabilité (sur les mêmes modèles que la fiabilité). [10]

XI.9.2.2 Calcul de la maintenabilité :

La maintenabilité peut se caractériser par sa MTTR.

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

MTTR = (Σ Temps d'intervention pour n pannes) / (Temps d'intervention pour n pannes)

Taux de réparation μ : $\mu = \left[\frac{1}{MTTR} \right]$ (III.8)

XI.9.3 La disponibilité :

XI.9.3.1 Définition :

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

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

Les moyens extérieurs nécessaires autres que la logistique de maintenance n'affectent pas la disponibilité du bien (NF EN 13306). [10]

XI.9.3.2 Quantification de la disponibilité :

La disponibilité peut se mesurer :

- Sur un intervalle de temps donné (disponibilité moyenne),
- À un instant donné (disponibilité instantanée),
- À la limite, si elle existe, de la disponibilité instantanée lorsque $t \rightarrow \infty$ (disponibilité asymptotique) [10]

XI.9.3.3 Les types de Disponibilité :

A. Disponibilité moyenne :

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

suivant : $D_0 = \frac{TCBF}{(TCBF+TCI)}$ (III.9)

Où :

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

B. Disponibilité intrinsèque :

Elle exprime le point de vue du concepteur. Ce dernier a conçu et fabriqué le produit en lui donnant un certain nombre de caractéristiques intrinsèques, c'est à dire des caractéristiques qui prennent en compte les conditions d'installation, d'utilisation, de maintenance et d'environnement, supposées idéales.

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

TBF : temps de bon fonctionnement.

TTR : temps techniques de réparation.

TTE : temps techniques d'exploitation.

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

C. Disponibilité opérationnelle : [11]

Il s'agit de prendre en compte les conditions réelles d'exploitation et de maintenance. C'est la disponibilité du point de vue de l'utilisateur.

Le calcul de D_o fait appel aux mêmes paramètres **TBF**, **TTR** et **TTE** sauf que ces 3 paramètres ne sont plus basés sur les conditions idéales de fonctionnement mais sur les conditions réelles (historiques d'exploitation). [10]

XI.10 Diagramme causes-effet (ISHIKAWA ou en ARRÊTE DE POISSON)

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

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

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

Les **5M**. :

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

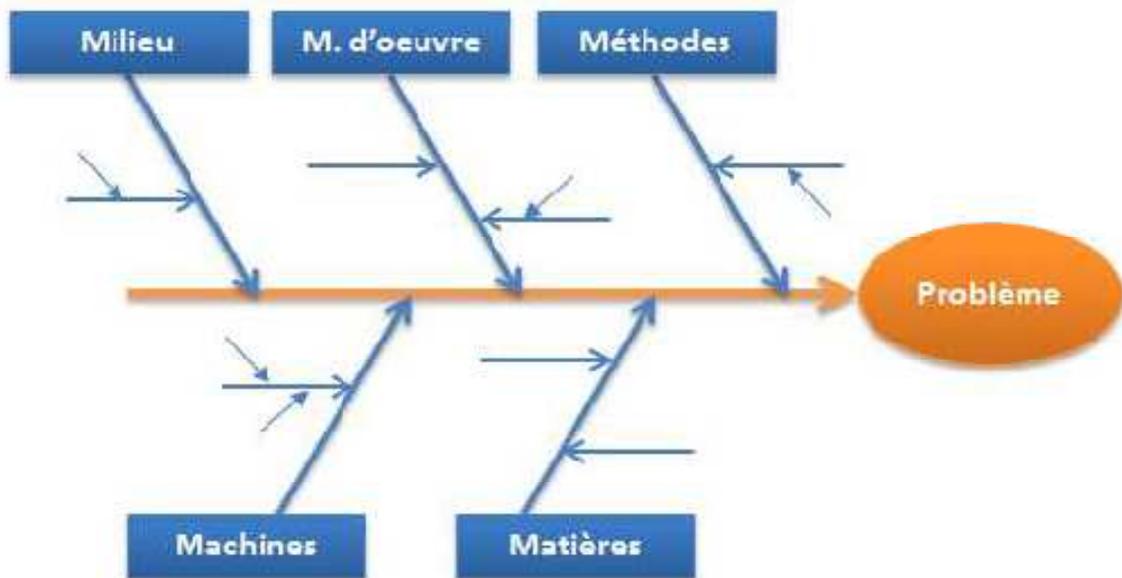


Figure 41 Représentation graphique du diagramme de causes à effets

XI.11 LA METHODE A.B.C :

XI.11.1 Définition :

Méthode objective et efficace de choix basés sur la connaissance d'une période antérieure. Les résultats se présentent sous forme d'une courbe dite « Courbe A.B.C ». [12]

XI.11.2 But :

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

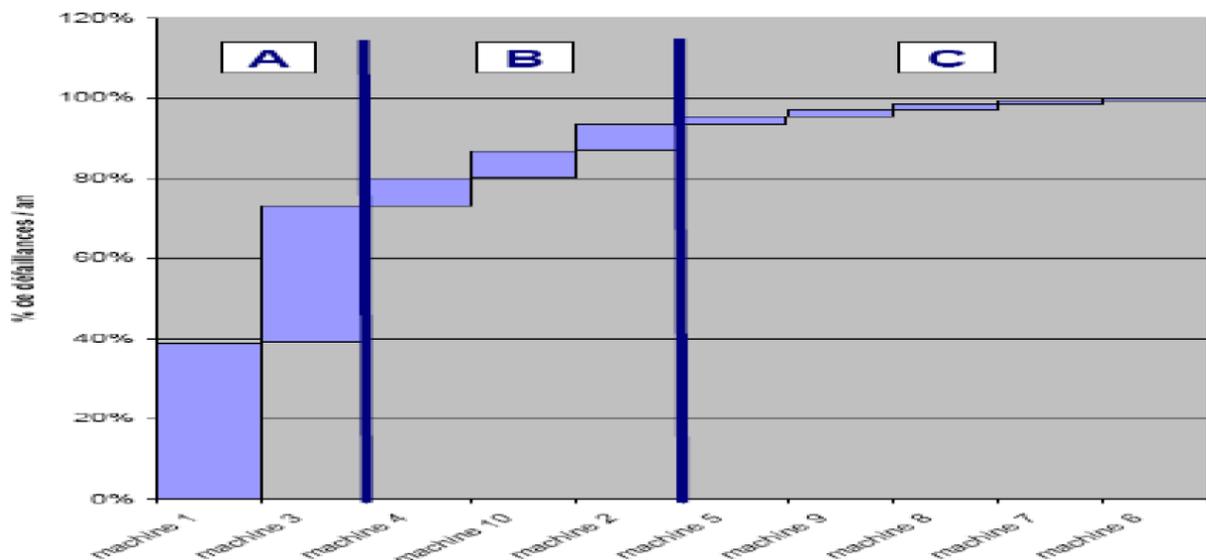


Figure 42 Courbe A.B.C

Zone A: Pertes devant engendrer des actions prioritaires.

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

Zone C: Pertes ne justifiant pas d'action.

XI.12 Analyse fonctionnelle :

XI.12.1 LE S.A.D.T. : ANALYSE DESCENDANTE ET LIENS INTER - FONCTIONNELLE

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

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

Une boîte SADT est située dans son contexte avec les autres boîtes ou modules, par l'intermédiaire de flèches de relation. Ces flèches symbolisent les contraintes de liaisons entre boîtes. Elles ne font pas office de commande ou de séquençage au sens strict. [11]

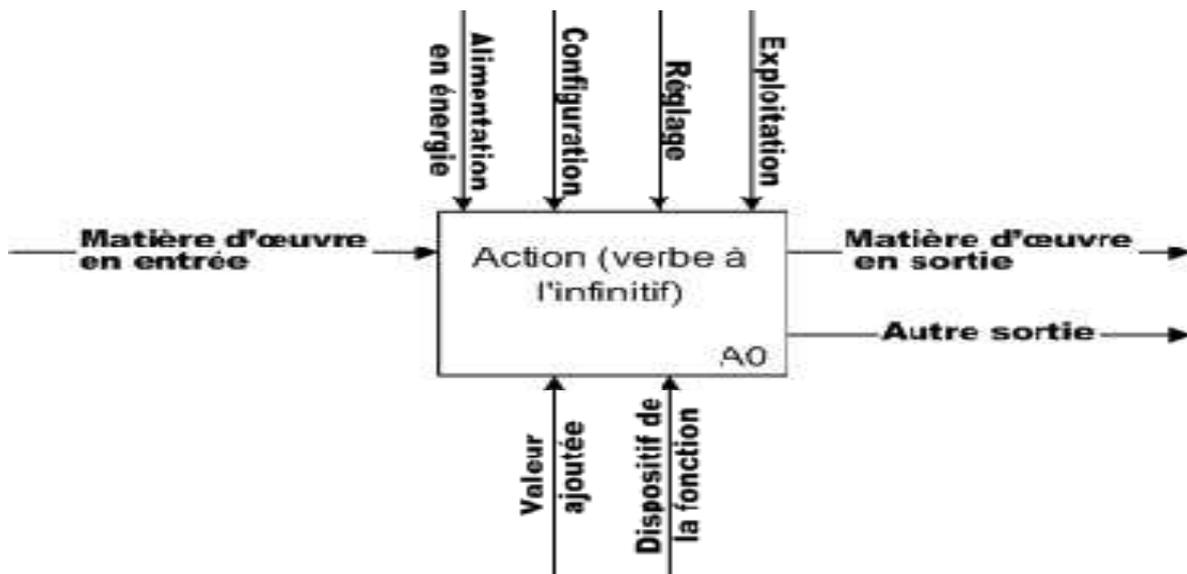


Figure 43 S.A.D.T

XI.12.2 LA PIEUVRE :

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

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

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

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

La pieuvre est un excellent outil de représentation des fonctions et de leurs relations avec l'objet étudié. Son avantage principal est de présenter synthétiquement et de manière conviviale ce que la littérature décrirait dans un document très long et peu explicite. [11]

XI.13 Étude AMDEC :

XI.13.1 Définition :

La méthode AMDEC est l'Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité.

L'AMDEC est un outil utilisé dans la démarche qualité et dans le cadre de la sûreté de fonctionnement.

L'AMDEC consiste à analyser :

- Les défaillances,
- Leurs causes,
- Leurs effets. [13]

XI.13.2 Objectifs de l'AMDEC :

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

On distingue 2 types d'AMDEC :

- Amélioration de la conception, Définition de la maintenance.
- Amélioration de la maintenance, Modification ponctuelle de la conception. [13]

XI.13.3 Méthodologie d'une AMDEC :

- Constitution d'un groupe de travail.
- Décomposition fonctionnelle du système.
- Évaluation des défaillances potentielles.
- Détermination des modes de défaillance, de leurs effets et de leurs causes.
- Évaluation et notation de chaque cause de défaillance.

D : probabilité de non détection de la cause de la défaillance.

F : probabilité d'apparition ou d'occurrence de la cause de la défaillance.

G : gravité de la défaillance.

- Calcul de criticité et hiérarchisation, L'indice de criticité C est obtenu par :
$$C = D \times F \times G. \quad (\text{III.11})$$
- Déduction des actions correctives à mener. [13]

XI.13.4 Types de l'AMDEC :

Il existe plusieurs types de la méthode d'analyse :

- **L'AMDEC organisation :**

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

CHAPITRE 03 : Généralités sur la maintenance

- **L'AMDEC-Produit :**

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

- **L'AMDEC-Processus :**

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

- **L'AMDEC moyen :**

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

- **L'AMDEC service :**

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

- **L'AMDEC sécurité :**

S'applique pour assurer la sécurité des opérateurs dans les procédés où il existe des risques pour ceux-ci. [13]

XI.14 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté des généralités sur la maintenance des compresseurs et la définition des concepts de base de cette maintenance par le calcul de la fiabilité, la maintenabilité, la disponibilité et AMDEC pour l'absence de défauts causés par ces compresseurs en raison de leur importance dans cette entreprise.

CHAPITRE 04 :

Application pratique et
interprétation des résultats

XII Introduction :

Un compresseur est un équipement qui joue un rôle très important dans notre société, La défaillance de l'équipement entraînant l'arrêt de la production est la principale raison perte. Afin de garantir une production stable à un niveau optimal, il faut lutter contre toute sorte de (défaillance) de toute nature.

Pour mener une étude structurée scientifiquement fondée, nous avons interrogé plusieurs Méthode, telle que principalement ABC pour déterminer la cause principale du compresseur, Ishikawa et AMDEC sont utilisés pour l'analyse des modes de défaillance.

XII.1 Historique des pannes :

Le traitement des données brutes de l'historique (tableau), passe par :

- Le calcul des heures d'arrêt suite à des pannes (TTR) qui résultent des différences entre les dates d'arrêt et de démarrage.
- Le calcul des heures de bon fonctionnement (TBF), qui résultent des différences entre deux pannes successives.

Tableau 6 Historique des pannes du compresseur 4V-8

N°	Date de démarrage	Date d'arrêt	TBF(H)	TTR(H)	Cause	Action
1	19/09/2005	29/11/2013	71760	06	Contacteur de puissance	Changement du contacteur de puissance
2	29/11/2013	30/11/2015	17544	124	Paliers	Changement des paliers
3	05/12/2015	17/02/2019	28008	312	Désalignement du rotor	Démontage et équilibrage du rotor
4	02/03/2019	23/12/2022	33302	72	Conduite de refroidissement	Nettoyage de conduite

XII.2 La Méthode ABC(PARETO) :

Tableau 7 Tableau de l'analyse ABC(PARETO)

N°	TTR(H)	Cumul TTR(H)	TTR %	Nombre de panne	Cumulées de pannes	Cumulée %
1	312	312	60.70	1	1	25
2	124	436	84.82	1	2	50
3	72	508	98.83	1	3	75
4	06	514	100	1	4	100

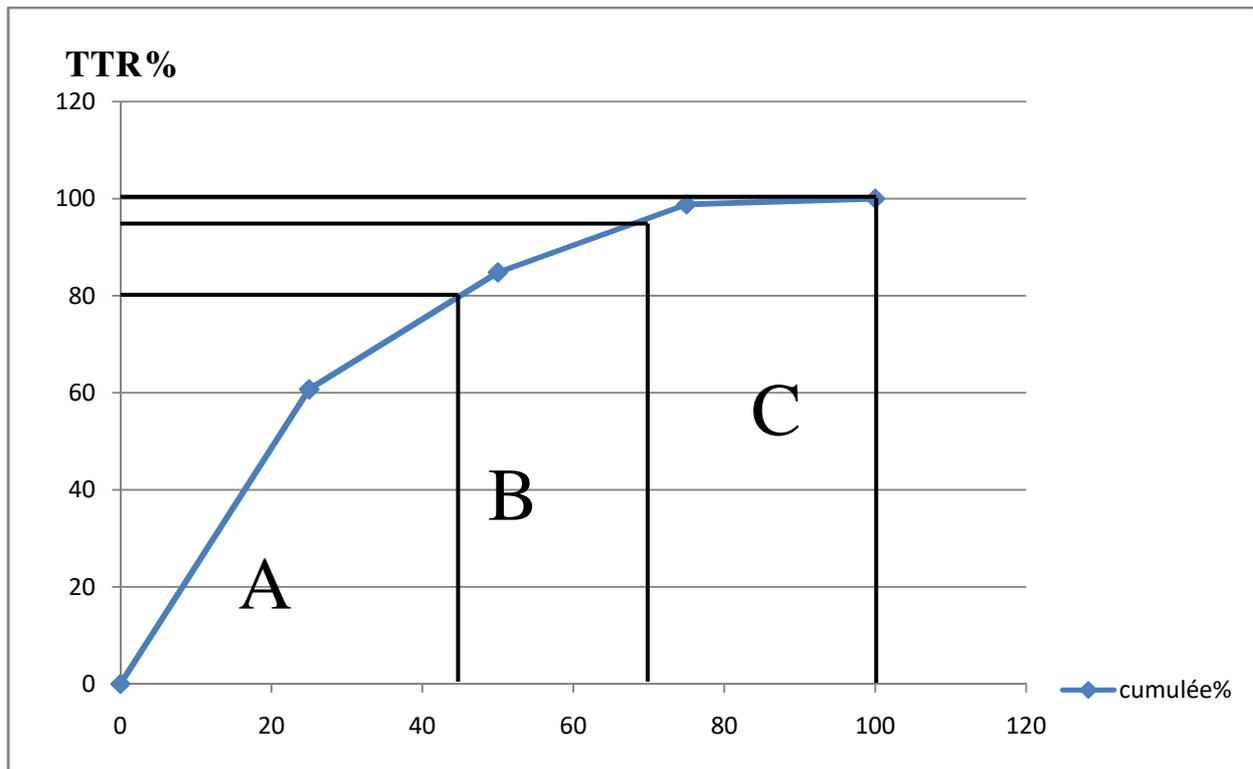


Figure 44 La Courbe de Pareto

Interprétation des résultats :

Zone "A": À travers cette zone nous trouvons qu'environ 42% des Organes constituent environ 80% des pannes totale du compresseur et ceci est dû au désalignement du compresseur.

Zone "B": Dans cette zone, les 28 % des Organes représentent 15% des pannes supplémentaire (Paliers).

Zone "C": Dans cette zone, les 30 % des Organes représentent 5% des pannes supplémentaire (Contacteur de puissance et conduite de refroidissement).

XII.3 Calcul des paramètres de Weibull :

Le tableau suivant comporte les TBF classés par ordre croissant, et les F(i) calculés par la méthode des ranges médians : $F(i) = \frac{\sum (ni - 0.3)}{(N + 0.4)}$ (IV.1)

(Dans notre cas $N = 4 \leq 20$) et on trace la courbe de Weibull :

Tableau 8 Tableau de la fonction F(i)

N°	TBF(H)	N	$\sum ni$	F(i)	F(i)%
1	17544	1	1	0.1590	15.90
2	12008	1	2	0.3862	38.62
3	33302	1	3	0.6136	61.36
4	71760	1	4	0.8409	84.09

CHAPITRE 04 : Application pratique et interprétation des résultats

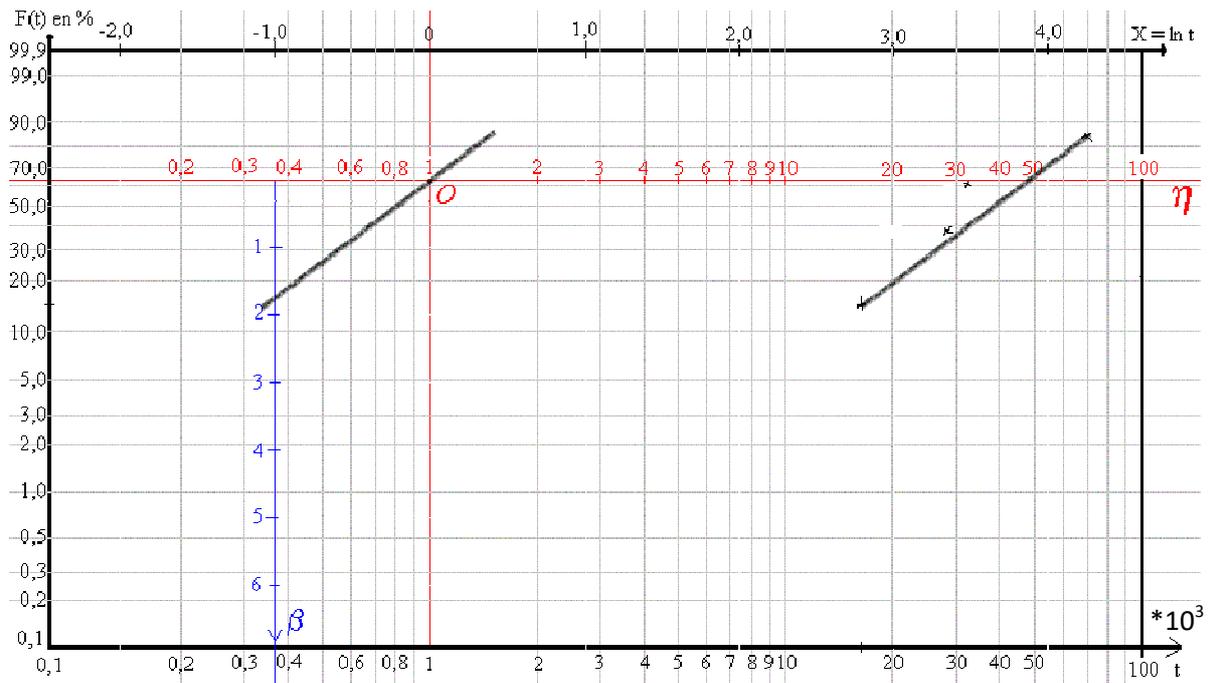


Figure 45 Graphe en papier de weibull

D'après le graphe on observe :

$$\beta = 1.75$$

$$\eta = 48000$$

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

XII.4 Test (KOLMOGOROV SMIRNOV)

Avant la validation de toutes les lois de fiabilité, il est nécessaire de tester l'hypothèse pour savoir si nous devons accepter ou rejeter le modèle proposé par le test de K-S avec un seuil de confiance de $\alpha = 20\%$.

Ce test consiste à calculer l'écart entre la fonction théorique $F(i)$ et la fonction réelle $F(t)$ et prendre le maximum en valeur absolue $D_{n,max}$.

Cette valeur est comparée avec $D_{n,\alpha}$ Qui est donnée par la table de Kolmogorov Smirnov (voir sur table Annex2).

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

Tableau 9 Test (KOLMOGOROV SMIRNOV)

N	TBF(H)	F(i)	F(t)	$D_{n,max} = F(i) - F(t) $
1	17544	0.1590	0.1578	0.0012
2	28008	0.3862	0.3226	0.0636
3	33302	0.6136	0.4098	0.2038
4	71760	0.8409	0.8675	0.0266

D'après la table de K-S :

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

Nous avons pris la valeur maximale $D_{Nmax} = F_i - F(t)$. (IV.2)

$D_{Nmax} = 0.2038$ tandis que $D_{N,\alpha} = D_{4,20} = 0,494$ (voir sur table Annexe02).

$0.2038 < 0.494$ donc l'hypothèse du modèle de Weibull est acceptable.

XII.5 Exploitation des paramètres de Weibull :

XII.5.1 Le MTBF :

Le tableau de MTBF donne $A = 0.8906$, $B = 0.525$ (voir sur table Annexe01).

$$MTBF = A\eta + \gamma \quad (IV.3)$$

$$MTBF = (0.8906 * 48000) + 0 = 42748.6h.$$

XII.5.2 La densité de probabilité en fonction de MTBF :

$$f(t=MTBF) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (IV.4)$$

$$f(t=MTBF) = \frac{1.75}{48000} \left(\frac{42748.6-0}{48000}\right)^{1.75-1} e^{-\left(\frac{42748.6-0}{48000}\right)^{1.75}} = 1.47 * 10^{-5}$$

XII.5.3 La fonction de répartition en fonction de MTBF :

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

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{42748.6-0}{48000}\right)^{1.75}} = 0.558 = 55.8\%$$

XII.5.4 La fiabilité en fonction de MTBF :

$$R(t=MTBF) = 1 - F(t=MTBF) \quad (IV.6)$$

$$R(MTBF) = 1 - 0.558 = 0.442 = 44.2\%$$

On remarque que la fiabilité du compresseur est moyenne.

XII.5.5 Le taux de défaillance en fonction de MTBF :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (IV.7)$$

$$\lambda(t=MTBF) = \frac{1.75}{48000} \left(\frac{42748.6-0}{48000}\right)^{1.75-1} = 3.34 * 10^{-5} \text{ panne/heure.}$$

XII.5.6 Calcul du temps souhaitable pour une intervention systématique : $R(t) = 90\% \Rightarrow t = ?$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (IV.8)$$

$$\ln R(t) = -\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta = \ln(0.9) \Leftrightarrow -[\ln R(t)]^{1/\beta} = t/\eta \Rightarrow t = \eta[\ln(1/R(t))]^{1/\beta}$$

$$t = 48000[\ln(1/0.9)]^{1/1.75}$$

$$t_{sys} = 13266.96 \text{ heures.}$$

Pour garder la fiabilité des compresseurs 90% il faut intervenir chaque temps systématique 13266.96 h.

XII.6 Étude de modèle de Weibull :

XII.6.1 La fonction de la densité de probabilité :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{IV.9})$$

$$f(t) = \lambda t \cdot R(t) \quad (\text{IV.10})$$

Tableau 10 Calcul la fonction de la densité de probabilité

TBF(H)	17544	28008	33302	71760
f(t).10⁻⁵	1.44	1.64	1.63	0.65

XII.6.1.1 Courbe de la densité de la probabilité f(t) :

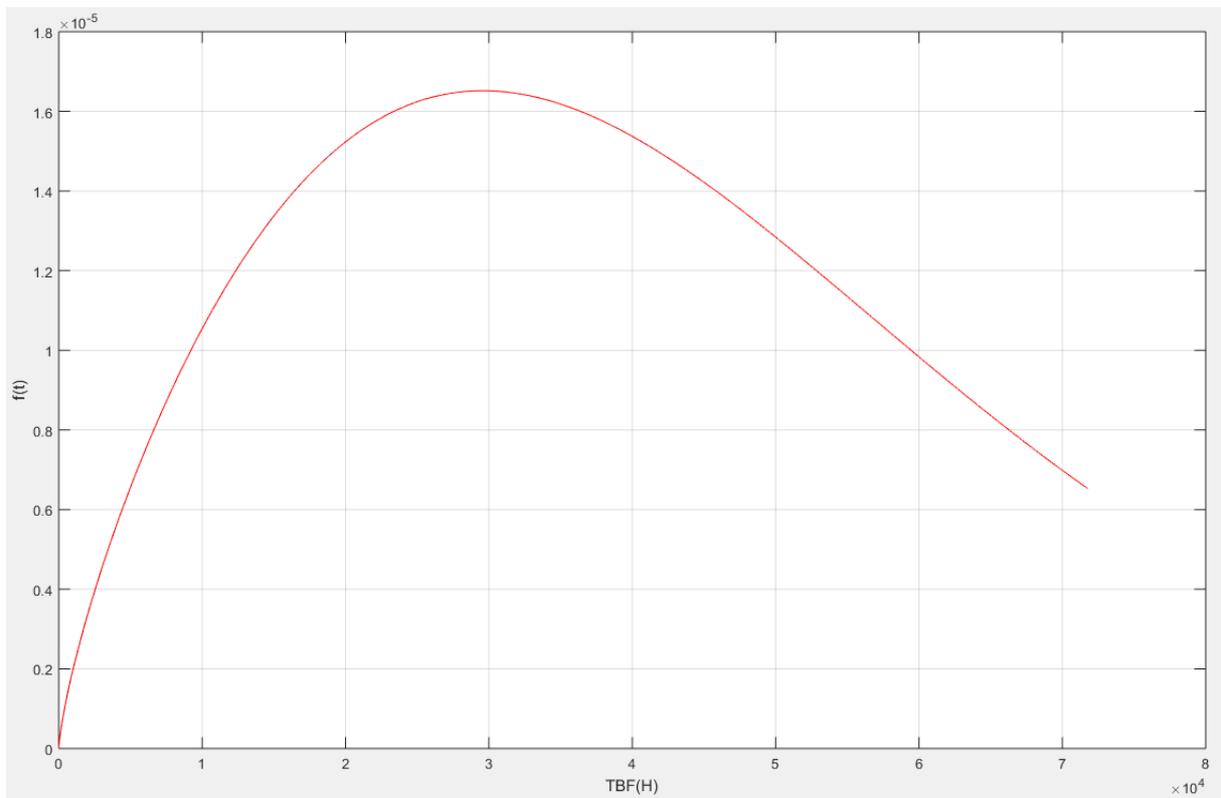


Figure 46 Courbe de la densité de la probabilité (Logiciel MATLAB)

Analyse de la courbe :

On trouve que la densité de probabilité augmente jusqu'à une valeur maximale $f(t) = 1.64 \cdot 10^{-5}$ ensuite avec le temps elle diminue jusqu'à atteindre des valeurs nulles, le nombre de panne le plus probable est 2 et 3 (ce que nous savons déjà puisque le taux de pannes est constant et qu'il a une panne tous les 42748.6h).

XII.6.2 Fonction de répartition F(t) :

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (IV.11)$$

Tableau 11 Calcul de la fonction de répartition F(t)

TBF(H)	17544	28008	33302	71760
F(t)	0.1578	0.3225	0.4098	0.8675

XII.6.2.1 Courbe fonction de répartition F(t) :

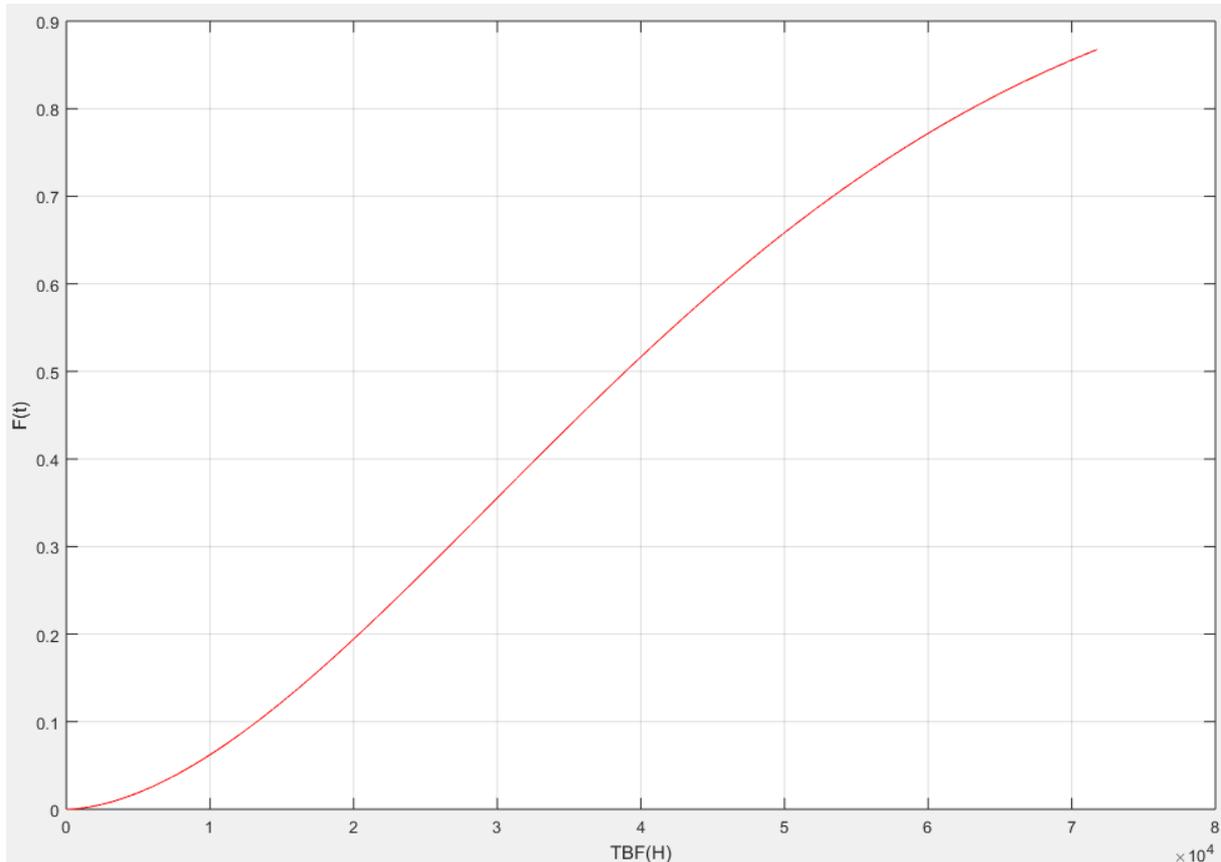


Figure 47 La Courbe De Fonction Répartition (logiciel MATLAB)

Analyse de la courbe :

Nous observons à travers la courbe que la fonction F(t) augmente constamment au fil du temps. Nous constatons que selon les résultats obtenus et l'analyse de la courbe de la fonction F(t) que notre bien (compresseur) se trouve en état de dégradation (défaillance).

XII.6.3 Fiabilité R(t) :

La fonction fiabilité de celle de répartition : $R(t) = 1 - F(t)$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (IV.12)$$

Tableau 12 Calcul de fiabilité R(t)

TBF(H)	17544	28008	33302	71760
R(t)	0.842	0.677	0.590	0.132

XII.6.3.1 Courbe de la fiabilité :

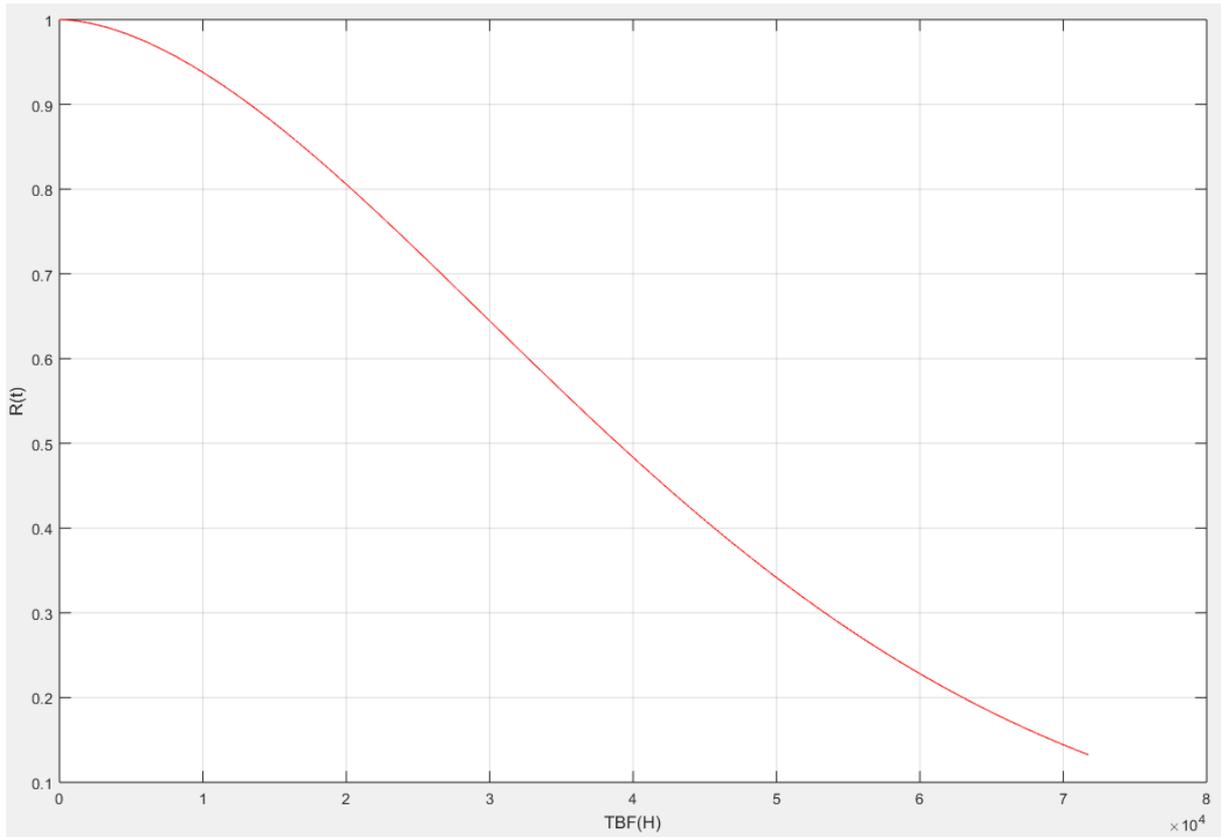


Figure 48 La Courbe De la Fonction Fiabilité (logiciel MATLAB)

Analyse de la courbe :

Nous observons à travers la courbe que la fonction R(t) prend une grande valeur et diminue avec le temps jusqu'à ce qu'elle prenne des valeurs nulles ce qui interprète la diminution de la fiabilité de notre bien (compresseur).

XII.6.4 Le taux de défaillance $\lambda(t)$:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta - 1} \quad (\text{IV.13})$$

Tableau 13 Calcul du taux de défaillance $\lambda(t)$

TBF(H)	17544	28008	33302	71760
$\lambda(t) \cdot 10^{-4}$	0.171	0.243	0.277	0.492

XII.6.4.1 Courbe du taux de défaillance :

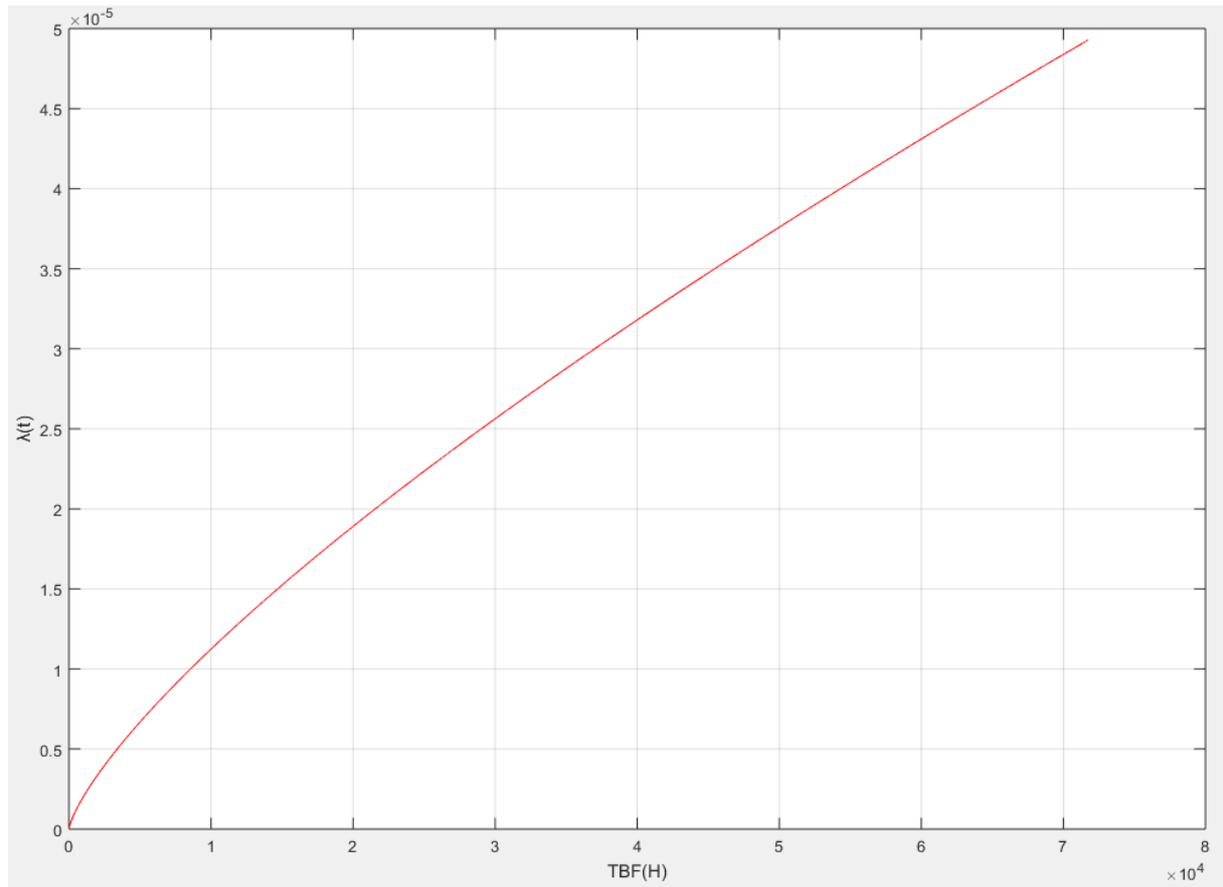


Figure 49 Courbe de taux de défaillance (logiciel MATLAB)

Analyse de la courbe :

On observe à travers la courbe que la fonction $\lambda(t)$ augmente constamment au fil du temps, donc on peut dire que notre bien (compresseur) est en période d'usure (vieillesse).

XII.6.5 Calcul de la Maintenabilité du compresseur :

D'après l'historique des pannes du compresseur :

$$MTTR = \Sigma TTR / N \quad (IV.14)$$

TTR : temps de réparation.

N : nombre de panne.

$$MTTR = 514 / 4 = 128.5 \text{ h.}$$

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad (IV.15)$$

$$\text{Avec } \mu = 1 / MTTR \quad (IV.16)$$

$$\mu = 1 / 128.5 = 0.0077 \text{ intervention / heure.}$$

Tableau 14 Calcul de la Maintenabilité du compresseur

TTR(H)	06	72	124	312
M(t)	0.045	0.425	0.615	0.909

XII.6.5.1 Courbe de maintenabilité :

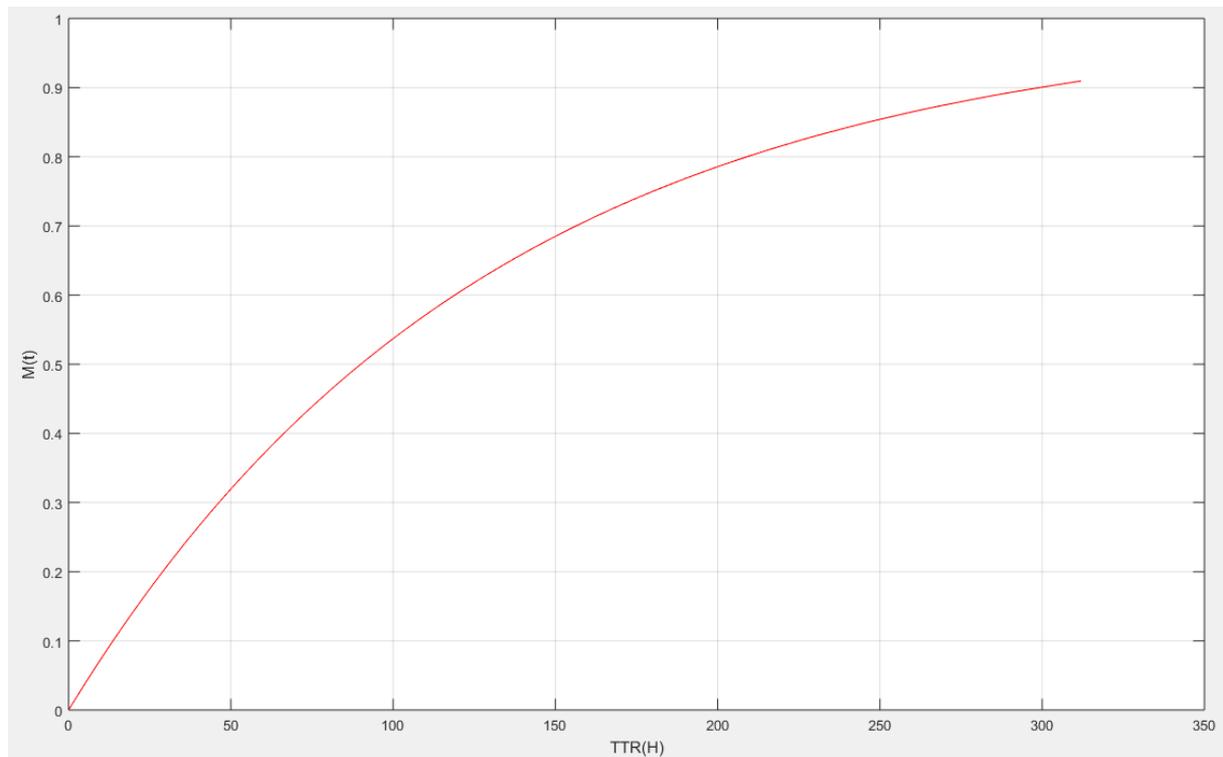


Figure 50. La Courbe de Maintenabilité (logiciel MATLAB)

Analyse de la courbe :

Nous observons à travers La Courbe de Maintenabilité qu'elle augmente avec le temps, donc on peut dire que notre bien (compresseur) peut se remettre en bon état de fonctionnement.

XII.6.6 Calcul de la disponibilité du compresseur :

XII.6.6.1 Disponibilité intrinsèque ou asymptotique :

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{42748.6}{42748.6 + 128.5} = 0.9970 \quad (IV.17)$$

XII.6.6.2 Disponibilité instantané :

$$D(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t} \quad (IV.18)$$

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} ; \lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{42748.6} = 0.0000233$$

$$MTTR = \frac{1}{\mu} ; \mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{128.5} = 0.00778$$

$$\mu + \lambda = 0.00778 + 0.0000233 = 0.00780$$

Note : calcul de la disponibilité du compresseur en fonction de l'heure pour une durée de 10 jours.

Tableau 15 Calcul de la disponibilité du compresseur

T(H)	60	120	180	240
D(t)	0.9988	0.9981	0.9977	0.9974

XII.6.6.2.1 Courbe de la disponibilité :

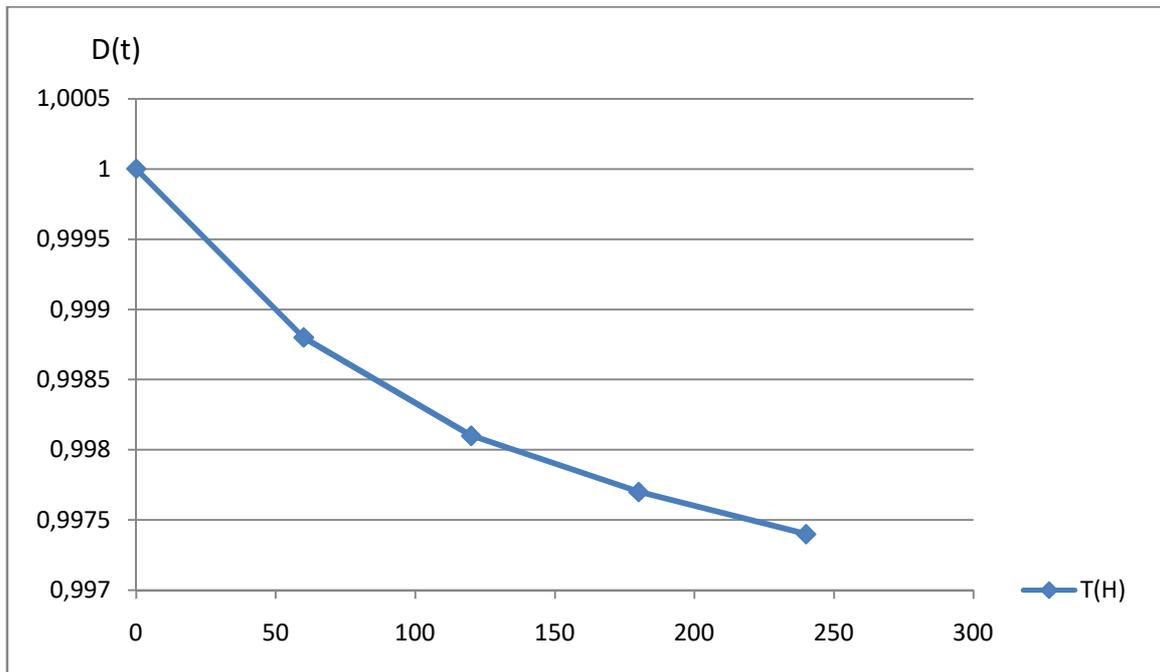


Figure 51 Courbe de la disponibilité

Analyse de la courbe :

Notez que la fonction de disponibilité diminue avec des petite valeurs qu'on peut ignorer jusqu'à prendre une valeur constante, donc on peut dire que notre bien (compresseur) est à l'état d'accomplir sa fonction dans des conditions de temps déterminées.

XII.7 Diagramme causes-effet (ISHIKAWA (5M) ou en ARÊTE DE POISSON) :

XII.7.1 Analyse du défaut de fonctionnement d'éléments de compression :

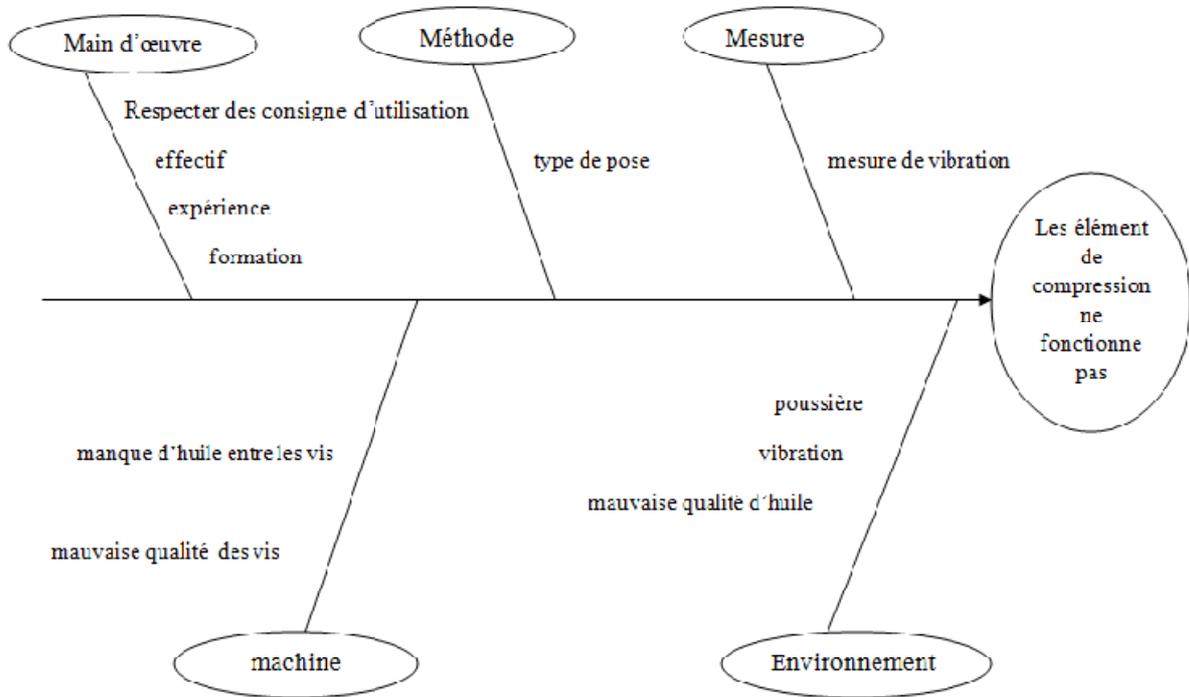


Figure 52 Diagramme d'Ishikawa

XII.8 Analyse fonctionnelle :

XII.8.1 LE S.A.D.T. : ANALYSE DESCENDANTE ET LIENS INTER-FONCTIONNELLE :

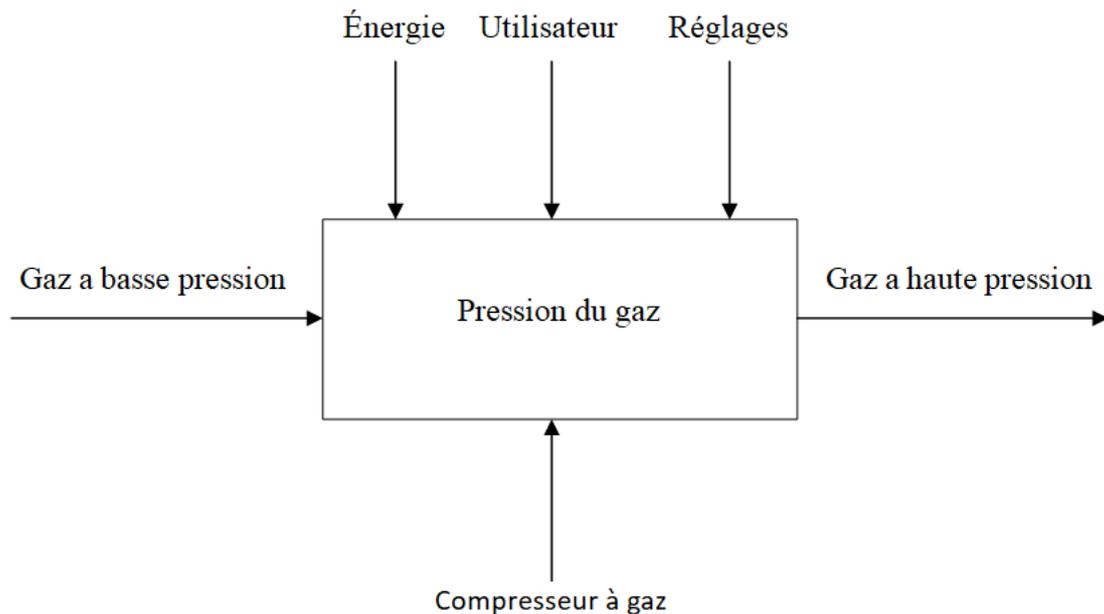


Figure 53 Modélisation du S.A.D.T

XII.8.2 LA PIEUVRE (compresseur) :

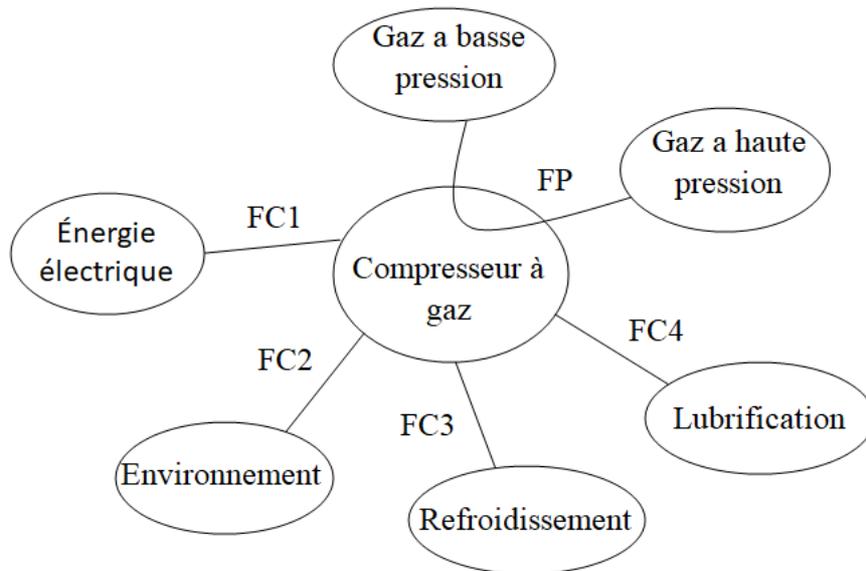


Figure 54 La pieuvre

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

Tableau 16 Fonctions et leurs significations

Fonctions	Significations
FP	Compression du gaz
FC1	Une consommation minimum d'énergie Électrique
FC2	Protection de l'environnement des gazes toxique
FC3	Assurer le fonctionnement à une température optimal
FC4	Réduire le coefficient de frottement

XII.9 Étude AMDEC :

XII.9.1 Calcul la criticité :

Tableau 17 Les indices de défaillance [14]

Indice	Valeur	Indice de défaillance
Indice de fréquence (F)	1	Moins d'une fois par an
	2	1 fois par an
	3	2 fois par an
	4	3 fois par an
Indice de gravité (G)	1	24 h > TTR h
	2	24 h ≤ TTR < 240 h
	3	240 h ≤ TTR < 340 h
	4	340 h ≤ TTR < 720 h
	5	Sécurité/Qualité : accident provoquant des problèmes de sécurité des personnes, lors du dysfonctionnement ou lors de l'intervention. Où Non-conformité du produit envoyé en clientèle.
Indice de non Détection (D)	1	Détection certaine
	2	DéTECTABLE par l'opérateur
	3	Difficilement détectable
	4	Indétectable

La criticité évaluée par : $C = F * G * D$ (IV.19)

Et on à dans le tableau suivant :

Tableau 18 Indice de criticité C [14]

N°	Niveau de criticité	Action corrective
1	$1 \leq C < 4$ Criticité négligeable	Aucune modification, maintenance corrective.
2	$4 \leq C < 8$ Criticité moyenne	Amélioration de la performance de l'élément, maintenance préventive systématique.
3	$8 \leq C < 12$ Criticité élevée	surveillance particulière, maintenance préventive conditionnelle.
4	$12 \leq C < 50$ Criticité interdit	Remise en cause complète de la conception de préventive conditionnelle.

XII.9.1.1 Calculs :

❖ **Contacteur de puissance :**

- Indice de fréquence **F = 1**
- Indice de gravité **G = 1**
- Indice non détection **D = 2**

Criticité (C)

$$C=1*1*2=2$$

❖ **Conduite de refroidissement :**

- Indice de fréquence **F = 1**
- Indice de gravité **G = 2**
- Indice non détection **D = 2**

Criticité (C)

$$C=1*2*2=4$$

❖ **Paliers :**

- Indice de fréquence **F = 1**
- Indice de gravité **G = 2**
- Indice non détection **D = 2**

Criticité (C)

$$C=1*2*2=4$$

❖ **Désalignement du rotor :**

- Indice de fréquence **F = 1**
- Indice de gravité **G = 3**
- Indice non détection **D = 3**

Criticité (C)

$$C=1*3*3=9$$

XII.9.2 Tableau d'AMDEC :

Tableau 19 Tableau d'AMDEC

PME :	Analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leurs criticités									
DATE	Sous-système : compresseur centrifuge 4V-8									
L'élément	fonction	Modes de défaillance	cause	Effet	Détection	Criticité				Action
						F	G	D	C	
Contacteur de puissance	Assurer le fonctionnement du compresseur	un court-circuit	Arrêt du circuit électrique	Compresseur ne marche pas	visuel	1	1	2	2	Changement du contacteur
Conduite de refroidissement	Maintenir une température de bon fonctionnement	Température de compresseur élevée	Refroidissement difficile du compresseur	Arrêt du compresseur	Indicateur de chaleur	1	2	2	4	Nettoyage et changement de l'huile dans les conduites
Paliers	Guider et supporter l'arbre rotorique	Usure ; Cassure.	Fatigue vibration	Échauffement Blocage d'arbre rotorique	Bruit ; Échauffement.	1	2	2	4	Changement des paliers
Le rotor	Transformation de l'énergie mécanique en quantité de mouvement sur le gaz.	Désalignement	Vibration	Arrêt du compresseur	Bruit. Capteur de vibrations.	1	3	3	9	Alignement axiale du rotor

XII.10 Conclusion :

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

Nous avons, dans un 2^{ème} temps fait une étude de défaillance en utilisant la méthode d'AMDEC qui permet de faire ressortir les points faibles du compresseur.

Et en faisant ces analyses et études, on trouve que :

- Les éléments qui causent environ 80% des pannes totale du compresseur et le désalignement du compresseur.
- Pour garder la fiabilité des compresseurs 90% il faut qu'à chaque temps systématique 13266.96 h nous faisons quelques actions préventives du compresseur.
- Grace a la table AMDEC nous pouvons voir que le rotor est le plus de risqué lorsqu'il atteindra 9, suivie par les conduites de refroidissement et les paliers leurs valeurs est 4.
- $\gamma = 0$ indique que les défaillances commencées au début dans la mise en Service du compresseur.

XIII Conclusion générale :

Arrivant à la fin de notre projet de fin d'étude portant sur l'étude analytique de la maintenance préventive d'un compresseur centrifuge 4V-8 nous présentons le bilan du travail que nous avons effectué. D'abord il a fallu bien s'intégrer et comprendre le fonctionnement du compresseur dans notre entreprise.

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

Ensuite, nous avons commencé notre étude par une analyse de l'existant pour bien comprendre les problèmes du système et afin de trouver les axes d'améliorations prioritaires à traiter. Cette analyse a été faite à partir de l'historique des arrêts de l'unité de compresseur enregistré, ce qui a servi de document de base pour appliquer la règle du 20/80 (diagramme Pareto) et pour trouver les causes des problèmes nous avons utilisé le diagramme ISHIKAWA, ces causes sont classés selon les 5M par exemple des personnes non formé, le compresseur se trouve dans un milieu poussiéreux.

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

Enfin on peut dire que les actions de maintenance doivent, de toute évidence, être mises en place tout au long de la durée de vie d'un matériel (équipement). Certaines de ces actions se situent dès la conception du matériel. D'autres sont des actions de surveillance et de suivi ou encore diverses opérations préventives ou correctives.

Annexes :

Annexe (01)

❖ MTBF et écart type :

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

$$\sigma = B\eta$$

Où A et B sont des paramètres Issus du tableau suivant.

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

Annexe (02)

- ❖ Détermination la valeur ($D_n.\alpha$) de test (KOLMOGOROV SMIRNOV) du tableau suivant.

n	α 0.01	α 0.05	α 0.1	α 0.15	α 0.2
1	0.995	0.975	0.950	0.925	0.900
2	0.929	0.842	0.776	0.726	0.684
3	0.828	0.708	0.642	0.597	0.565
4	0.733	0.524	0.564	0.525	0.494
5	0.669	0.565	0.510	0.474	0.446
6	0.618	0.521	0.470	0.436	0.410
7	0.577	0.486	0.438	0.405	0.381
8	0.543	0.457	0.411	0.381	0.358
9	0.514	0.432	0.388	0.360	0.339
10	0.490	0.410	0.368	0.342	0.322
11	0.468	0.391	0.352	0.326	0.307
12	0.450	0.375	0.338	0.313	0.295
13	0.433	0.361	0.325	0.302	0.284
14	0.410	0.349	0.314	0.292	0.274
15	0.404	0.338	0.304	0.283	0.266
16	0.392	0.328	0.295	0.274	0.258
17	0.381	0.318	0.286	0.266	0.250
18	0.371	0.309	0.278	0.259	0.244
19	0.363	0.301	0.272	0.252	0.237
20	0.356	0.294	0.264	0.246	0.231
25	0.320	0.270	0.240	0.220	0.210
30	0.290	0.240	0.220	0.200	0.190
35	0.270	0.230	0.210	0.190	0.180
40	0.250	0.210	0.190	0.180	0.170
45	0.240	0.200	0.180	0.170	0.160
50	0.230	0.190	0.170	0.160	0.150
OVER 50	1.63	1.36	1.22	1.14	1.07
	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}

Annexe (03)

❖ Programmation dans le logiciel MATLAB.

Vu que dans MATLAB on ne peut pas entrer quelques symboles on les à remplacer par d'autres lettres qui les ressemblent ($B=\beta$; $n=\eta$; $u=\mu$).

a) Fiabilité :

• Densité de probabilité

1. $B=1.75$
2. $n=48000$
3. $t=0:0.1:17544 :28008 :33302 :71760;$
4. $f= (\exp(-(t/n).^B)).*((B/n)*(t/n).^(B-1));$
5. $\text{plot}(t,f,'r')$
6. grid

• Fonction de répartition

1. clc
2. clear
3. $B=1.75$
4. $n=48000$
5. $t=0:0.1:17544 :28008 :33302 :71760;$
6. $F=1-\exp(-(t/n).^B);$
7. $\text{plot}(t,F,'r')$
8. grid

• Loi de fiabilité

1. clc
2. clear
3. $B=1.75$
4. $n=48000$
5. $t=0:0.1:17544 :28008 :33302 :71760;$
6. $R=\exp(-(t/n).^B);$
7. $\text{plot}(t,R,'r')$
8. grid

• Taux de défaillance

1. clc
2. clear
3. $B=1.75$
4. $n=48000$
5. $t=0:0.1:17544 :28008 :33302 :71760;$
6. $L=(B/n)*(t/n).^(B-1);$
7. $\text{plot}(t,L,'r')$
8. grid

b) Maintenabilité:

1. clc
2. clear
3. $u=0.00778$
4. $t=0:0.1:6 :72 :124 :312;$
5. $M=1-\exp(-u*t);$
6. $\text{plot}(t,M,'r')$
7. grid

Liste des références bibliographique :

- [1] Compressor Handbook.Editor 2001 par Paul. C. Hanlon.
- [2] Fundamentals of centrifugal compressor mhi Turbo-Techno Co. training center.
- [3] Manuel de service – fonctionnement et instruction (11-k-001).
- [4] Manuel de l'entreprise.
- [5] Pompage des Compresseurs par Jean Parc Pugnet.
- [6] Cours Master I, 2011/2012 « Techniques de diagnostic industriel » Mr MEDJOU DJ.
- [7] F. Castellazzi, D.Cogniel, Y.Gangloff, « Memotech maintenance industrielle », édition CASTEILLA, Paris septembre 1998.
- [8] A. BELHOMME Cours de STRATEGIE DE MAINTENANCE Forges les Eaux année 2010/2011
- [9] Cherifi ABDERRAHIM / Amarache SALIM Thème : Etude et maintenance du compresseur centrifuge BCL-406 Problème d'encrassements Université M'hamed Bouguera Boumerdes 2016/2017.
- [10] BELLAOUAR Ahmed / BELEULMI Salima cour FMD (FIABILITE, MAINTENABILITE et DISPONIBILITE) UNIVERSITE Constantine 1 Année Académique 2013-2014.
- [11] cour de stratégie de maintenance univ-Constantine 2019.
- [12] cour de LA METHODE A.B.C. Gestion de production.
- [13] M. GRAD Hicham Sous le thème Apport de la MCSA par rapport à l'analyse vibratoire pour le suivi de l'état de la machine Asynchrone Université Mohammed V–Soussi 2012/2013.
- [14] LADRAA AICHA/OUKICHA NAJWA Thème : (Maîtrise et Fiabilisation des compresseurs de secteur adaptation de la laverie DAOU) Université Sidi Mohammed Ben Abdellah Fès 15/06/2015.
- [15] SIGUERDJIJENE Hakim. Polycopies gestion de la maintenance et de la production. Université M'Hamed BOUGARA de Boumerdes(UMBB). Années 2021.